



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN
RAYON BLORA DENGAN METODE FMEA**

M. Umar Khusni NM
NRP 2215 105 050

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI
PT. PLN RAYON BLORA DENGAN METODE FMEA**

M. Umar Khusni NM
NRP 2215 105 050

Dosen Pembimbing
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**RELIABILITY ANALYSIS OF 20 KV DISTRIBUTION SYSTEM
IN PT. PLN RAYON BLORA WITH FMEA METHOD**

M. Umar Khusni NM
NRP 2215 105 050

Advisor
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **"Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv di PT. PLN Rayon Blora Dengan Metode FMEA"** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



M. Umar Khusni NM
NRP. 2215 105 050

**ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV
DI PT. PLN RAYON BLORA DENGAN METODE FMEA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

Pada

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
NIP. 197411292000121001

Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.
NIP : 197007121998021001



ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DI PT. PLN RAYON BLORA DENGAN METODE FMEA

M. Umar Khusni NM
2215 105 050

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

Dosen Pembimbing 2 : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ABSTRAK

Kontinuitas dan ketersediaan tenaga listrik pada konsumen perlu dijaga dan ditingkatkan. Sehingga perlunya menilik dan mengevaluasi keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Ekspansi jaringan distribusi tenaga listrik guna menyediakan tenaga listrik pada konsumen juga perlu memperhatikan keandalan sistem.

Pada tugas akhir bertujuan untuk menghitung indeks keandalan dari sistem distribusi tenaga listrik di Rayon Blora. Metode yang digunakan dalam menghitung indeks keandalan di tugas akhir ini adalah menggunakan metode FMEA (Failure Mode and Effect Analysis), dimana metode ini memperhitungkan indeks kegagalan pada tiap – tiap peralatan yang membentuk sistem distribusi tenaga listrik sehingga dapat mempresentasikan indeks keandalan sistem dalam keseluruhan. Indeks keandalan yang telah didapat akan membimbing dalam menentukan penyulang mana yang perlu mendapatkan peningkatan keandalannya dengan cara memasang peralatan sectionalizer dan fuse.

Setelah melakukan perhitungan guna memperbaiki indeks keandalan penyulang Blora 5 didapat bahwa indeks keandalan SAIFI yang sebelumnya memiliki nilai 13,35 membaik menjadi 12,12. Sedangkan nilai SAIDI sebelumnya 19,13 membaik menjadi 18,19

Kata kunci : Keandalan, Distribusi 20 kV, Rayon Blora dan Metode FMEA

RELIABILITY ANALYSIS OF 20 KV DISTRIBUTION SYSTEM IN PT. PLN RAYON BLORA WITH FMEA METHOD

M. Umar Khusni NM
2215 105 050

1st Advisor : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
2nd Advisor : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ABSTRACT

Continuity and availability of electricity to consumers need to be maintained and improved. So the need to examine and evaluate the reliability of power distribution systems. Expansion of electricity distribution network to provide electricity to consumers also need to pay attention to the reliability of the system.

In the final project aims to calculate the reliability index of power distribution system in Rayon Blora. The method used in calculating reliability index in this final project is using FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) method, where this method takes into account the failure index on each equipment that make up the power distribution system so that it can present the overall system reliability index. The reliability index that has been obtained will guide in determining which repeater needs to get its reliability enhancement by installing sectionalizer and fuse equipment.

After performing the calculations to improve the reliability index of Blora 5 feeder it is found that the SAIFI reliability index which previously had a value of 13.35 improved to 12.12. While the previous SAIDI value of 19.13 improved to 18.19

Keywords : Reliability, Distribution 20 kV, Rayon Blora and FMEA Method

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat, Karunia, dan Petunjuk yang telah dilimpahkan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ***“Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV di PT. PLN Rayon Blora Dengan Metode FMEA”***.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna baik dalam penyusunan, maupun dalam pembahasan dan analisa permasalahan. Hal ini tidak terlepas dari keterbatasan pengetahuan dan pemahaman penulis. Maka dari itu penulis mohon maaf atas ketidak sempurnaannya dalam menyusun laporan Tugas Akhir ini.

Selain itu penulis juga menyadari bahwa selama proses penyusunan laporan Tugas Akhir tidak lepas dari kendala-kendala, namun berkat nasihat, bimbingan, bantuan dari berbagai pihak dan berkah dari Allah SWT sehingga semua kendala yang ada dapat diatasi oleh penulis. Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah melancarkan semua urusan saya dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua saya, Bapak Masduki dan Ibu Siti Jumala yang senantiasa memberikan dukungan, motivasi, nasehat dan doanya selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I serta Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan, saran serta bimbingan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir dan selama perkuliahan di Teknik Elektro.
4. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan, yang juga memberikan banyak dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.

Besar harapan penulis semoga pengerjaan Tugas Akhir ini dapat dicatat sebagai amal ibadah di sisi Allah SWT dan semoga buku laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan mahasiswa Teknik Elektro pada khususnya.

Surabaya, Juli 2017

M. Umar Khusni NM

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4

BAB II

SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20KV

2.1 Sistem Tenaga Listrik	5
2.2 Gardu Induk	6
2.2.1 Klasifikasi Gardui Induk	6
2.2.2 Peralatan Gardu Induk	7
2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	8
2.3.1 Sistem Radial	9
2.3.1.1 Sistem Radial Pohon	9
2.3.1.2 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah	10
2.3.1.3 Sistem Radial dengan Pembagi Fasa Area	10
2.3.2 Sistem Lingkar (loop)	11
2.3.3 Sistem Spindel	12
2.3.4 Sistem Gugus atau Kluster	13
2.4 Komponen pada SUTM	13

2.4.1 Peralatan Hubung (Switch)	13
2.4.1.1 Load Break Switch (LBS)	13
2.4.2 Peralatan Proteksi SUTM.....	13
2.4.2.1 Pemisah dengan Pengaman Lebur (Fuse Cut Out)	13
2.4.2.2 Pemutus Balik Otomatis (PBO, Automatic Recloser)	14
2.4.2.3 Saklar Seksi Otomatis (Sectionalizer)	14
2.5 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik	14
2.5.1 Jenis Gangguan	15
2.5.1.1 Gangguan Satu Fasa ke Tanah.....	16
2.5.1.2 Gangguan Dua Fasa ke Tanah	16
2.5.1.3 Gangguan Fasa ke Fasa	16
2.5.1.4 Gangguan Tiga Fasa ke Tanah	16

BAB III

SISTEM DISTRIBUSI 20 KV RAYON BLORA DAN KEANDALANYA

3.1 Sistem Tenaga Listrik.....	17
3.2 Bentuk Jaringan Sistem Distribusi 20 kV	18
3.3 Definisi dalam Keandalan Distribusi	18
3.4 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Indeks Keandalan.....	19
3.5 Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 kV	20
3.5.1 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)	21
3.5.2 SAIDI (System Average Interruption Duration Index)	21
3.5.3 CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)....	21
3.5.4 AENS (Average Energy Not Supplied).....	22
3.6 Standart Keandalan Sistem Distribusi 20 kV	22
3.7 Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)	23
3.7.1 Prosedur Metode FMEA.....	25
3.8 Contoh Evaluasi Keandalan	26

BAB IV

EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PT.PLN RAYON BLORA

4.1 Model Sistem.....	31
4.2 Penyulang Blora 3	32
4.3 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan FMEA.....	37
4.3.1 Indeks Keandalan Penyulang Blora 3	37
4.3.2 Hasil Perhitungan Indeks keandalan Penyulang Lainnya	41
4.4 Upaya Meningkatkan Indeks Keandalan	43

4.5	Upaya Meningkatkan Indeks Keandalan Blora 5	44
4.6	Indeks Keandalan Kondisi Lapangan	45

BAB V

PENUTUP

5.1.	Kesimpulan.....	49
------	-----------------	----

DAFTAR PUSTAKA	51
-----------------------------	-----------

RIWAYAT PENULIS.....	53
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	55
----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2. 1 Jaringan Sistem Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2. 2 Sistem Radial Pohon.....	9
Gambar 2. 3 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah	10
Gambar 2. 4 Sistem Radial dengan Pembagian Fasa.....	11
Gambar 2. 5 Sistem Loop	12
Gambar 3. 1 SLD GI Blora.....	17
Gambar 3. 2 Bentuk jaringan distribusi.....	18
Gambar 3. 3 Skema FMEA	24
Gambar 3. 4 Prosedur FMEA	25
Gambar 3. 5 Contoh jaringan penyulang.....	26
Gambar 4. 1 Perbandingan Indeks Keandalan Antar Penyulang	43

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3. 1 Standart Nilai Laju Kegagalan	23
Tabel 3. 2 mode kegagalan dan pengaruh terhadap sistem.....	28
Tabel 3. 3 Panjang saluran.....	29
Tabel 3. 4 Panjang saluran (lanjutan)	29
Tabel 3. 5 Indeks keandalan gambar 3.5	29
Tabel 4. 1 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Blora 3	32
Tabel 4. 2 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Blora 3 (lanjutan).....	33
Tabel 4. 3 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Blora 3 (lanjutan).....	34
Tabel 4. 4 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Blora 3 (lanjutan).....	35
Tabel 4. 5 Panjang Saluran Penyulang Blora 3	35
Tabel 4. 6 Panjang Saluran Penyulang Blora 3 (lanjutan)	36
Tabel 4. 7 Panjang Saluran Penyulang Blora 3 (lanjutan)	37
Tabel 4. 8 Standar Laju Kegagalan PLN	37
Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Keandalan Feeder Blora 3.....	38
Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Keandalan Feeder Blora 3 (lanjutan) .	39
Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Keandalan Feeder Blora 3 (lanjutan) .	40
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Keandalan Feeder Blora 3 (lanjutan) .	41
Tabel 4. 13 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 3.....	41
Tabel 4. 14 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 2.....	41
Tabel 4. 15 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 4.....	41
Tabel 4. 16 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 5.....	42
Tabel 4. 17 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 6.....	42
Tabel 4. 18 Sebelum dan Sesudah Perbaikan	44
Tabel 4. 19 Laju Kegagalan Setahun.....	45
Tabel 4. 20 Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 2	46
Tabel 4. 21 Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 3	46
Tabel 4. 22 Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 4	46
Tabel 4. 23 Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 5	47
Tabel 4. 24 Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 6	47

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1) Topologi Jaringan Penyulang Blora 2	55
2) Topologi Jaringan Penyulang Blora 3	57
3) Topologi Jaringan Penyulang Blora 4	59
4) Topologi Jaringan Penyulang Blora 5	61
5) Topologi Jaringan Penyulang Blora 6	63

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada aspek kebutuhan tenaga listrik, permintaan energy listrik terus meningkat. Pada sisi lain, kondisi sistem kelistrikan masih memerlukan pembenahan. Pembenahan perlu dilakukan karena mengingat kondisi sistem yang terpasang sudah cukup tua, dan belum ada upaya untuk peremajaan khususnya peremajaan pada aspek desain.

Permasalahan yang paling mendasar pada sistem distribusi tenaga listrik adalah pada mutu, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan daya listrik pada konsumen. Sehingga terjadinya kegagalan pada peralatan menyebabkan penyediaan listrik akan terganggu. Sehingga kegagalan dari peralatan listrik menjadi salah satu permasalahan terpenting, maka perlu dilakukan evaluasi keandalannya. Evaluasi keandalan dapat mengidentifikasi jenis kegagalan, dampak kegagalan terhadap kondisi operasional jaringan distribusi tenaga listrik.

Untuk mengetahui keandalan suatu penyulang maka ditetapkan suatu indeks keandalan. Indeks keandalan adalah besaran untuk merepresentasikan penampilan suatu sistem distribusi. Indeks – indeks keandalan yang sering dipakai dalam sistem distribusi adalah SAIFI (System Average Interruption Frequency Index), SAIDI (System Average Interruption Frequency Index), CAIDI (Customer Average Interruption Frequency Index), ASAI (Average Service Availability Index).

Salah satu cara untuk mengetahui indeks keandalan adalah dengan menggunakan metode FMEA. Secara umum FMEA merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa suatu kegagalan dan akibatnya untuk menghindari kegagalan tersebut.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Menghitung Indeks Keandalan SAIFI, SAIDI dan CAIDI berdasarkan laju kegagalan(Failure Rate), waktu perbaikan rata-rata, Switching time serta jumlah konsumen pada setiap titik beban(load point).
2. Menentukan lokasi yang memerlukan perbaikan keandalan.
3. Cara untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik 20Kv yang memerlukan perbaikan keandalan.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini adalah :

1. Mengidentifikasi mode kegagalan
2. Menghitung Indeks-indeks keandalan
3. Mengevaluasi usaha tindakan perbaikan atau pencegahan terhadap mode kegagalan

1.4 Batasan Masalah

Batasan Masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Sistem distribusi 20 kV
2. Tanpa menganalisa cost analysis, management analysis, maupun maintenance analysis
3. Indeks keandalan mengacu pada Standar PLN

1.5 Metodologi

Dalam tugas akhir ini digunakan metode sebagai berikut :

1. Studi literatur
Dalam tahap studi literature dipelajari definisi keandalan dan petunjuk matematis untuk keandalan sistem tenaga listrik, metoda pengerjaan FMEA.
2. Pengumpulan data
Pengumpulan data melakukan pengumpulan data – data yang diperlukan dalam menganalisa keandalan menggunakan metode FMEA. Data tersebut meliputi pengumpulan struktur jaringan distribusi primer 20 kV, data nilai laju kegagalan (failure rate), waktu perbaikan rata-rata, mode kegagalan, potential efek kegagalan peralatan yang ada di jaringan distribusi primer 20 kV
3. Perhitungan Keandalan Manual Menggunakan Excel
Dari data-data yang telah dikumpulkan seperti topologi jaringan dan data penunjang lainnya yang didapat maka dapat dicari Indeks Keandalan dengan menggunakan metode FMEA. Dengan cara membuat formula yang sesuai dengan metode yang diterapkan sehingga menghasilkan Indeks Keandalan Sistemnya.
4. Analisa Keandalan
Dari hasil Simulasi maupun Perhitungan didapatkan Indeks Keandalan masing-masing maka dapat dianalisa Kemampuan

fungsi komponen dan ditentukan posisi yang perlu untuk diperbaiki keandalannya

5. Perbaikan Keandalan

Pada tahap ini jika didapatkan indeks keandalan yang belum sesuai target standart dari PLN maka dilakukan upaya perbaikan keandalan yaitu dengan penambahan peralatan berupa fuse maupun switch sehingga didapatkan indeks keandalan yang lebih baik

6. Pembuatan Kesimpulan dan laporan tugas akhir

Dari hasil analisa maka didapat kesimpulan dan Melakukan penulisan laporan yang menunjukkan hasil akhir dari tugas akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pembahasan dalam tugas akhir ini terdiri atas lima bab dengan uraian sebagai berikut :

BAB 1 : Pendahuluan

Bab ini merupakan pendahuluan yang berisi latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 : Landasan Teori

Bab ini diuraikan teori – teori yang digunakan dalam pembuatan penelitian, diantaranya yaitu teori Pembahasan mengenai Sistem Tenaga Listrik, Gardu Induk, Sistem Distribusi, Peralatan Sistem Distribusi, Serta gangguan pada sistem distribusi.

BAB 3: Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Bab ini membahas tentang keandalan sistem distribusi 20 kV disertai dengan Data penunjang yang dibutuhkan guna menghitung indeks keandalannya menggunakan FMEA.

BAB 4 : Analisa Data

Bab ini membahas tentang Analisa keandalan menggunakan metode FMEA, lalu dilanjutkan dengan upaya perbaikan keandalan

BAB 5 : Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari hasil analisa keandalan.

1.7 Relevansi

Dengan melakukan evaluasi pada jaringan distribusi listrik 20 kV menggunakan metode FMEA (Failure Modes And Effects Analysis) diharapkan dapat mengetahui tingkat keandalan dari tiap penyulang yang menyalurkan listrik ke konsumen. Dengan diketahuinya tingkat keandalan penyulang yang ada, maka dapat diketahui penyulang mana yang memerlukan perbaikan keandalan sistem distribusi listriknya. Sehingga dapat memperbaiki dan meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik.

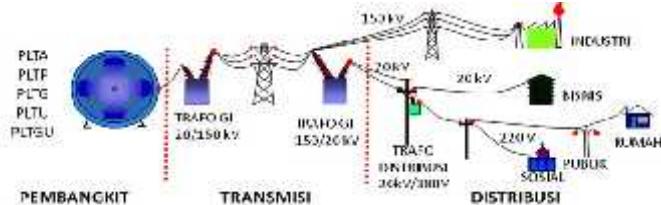
BAB II

SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20KV

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan proses dari penyaluran dan pendistribusian energi listrik. Penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik menuju beban. Sistem distribusi tenaga listrik didesain dan dibangun untuk memasok daya listrik bagi sekelompok beban. Desain dari sistem distribusi tenaga listrik cukup kompleks, diawali dari peralatan instalasi sumber listrik sampai ke instalasi pusat – pusat beban.

Sumber tenaga listrik dibangkitkan dari pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTU, PLTA, PLTG. Tenaga listrik yang telah terbangkit kemudian disalurkan melalui saluran transmisi dan kemudian dilanjutkan ke distribusi listrik ke beban - beban. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Jaringan Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh Gardu Induk (GI) dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan adalah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer

inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt.

2.2 Gardu Induk

Gardu Induk merupakan suatu instalasi yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik tegangan tinggi yang memiliki fungsi sebagai transformasi daya listrik. Gardu Induk mentransformasikan daya :

- Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 KV/150 KV).
- Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 KV/ 70 KV).
- Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 KV/ 20 KV, 70 KV/20 KV).
- Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hertz).

Selain sebagai transformasi daya, gardu induk juga berfungsi sebagai pengukuran, pengawasan operasi, serta pengaturan dari sistem tenaga listrik.

2.2.1 Klasifikasi Gardu Induk

Menurut fungsi dari gardu induk, gardu induk dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Gardu induk penaik tegangan

Gardu induk penaik tegangan merupakan gardu induk yang berfungsi sebagai penaik tegangan. Gardu induk akan menaikkan tegangan pembangkit listrik menjadi tegangan sistem. Gardu induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik. Karena tegangan keluaran yang dihasilkan oleh pembangkit listrik relatif kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi guna mengurangi rugi – rugi.

2. Gardu induk penurun tegangan

Gardu induk penurun tegangan berfungsi sebagai menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi. Gardu Induk terletak di daerah pusat pusat beban

3. Gardu distribusi

Gardu distribusi adalah gardu yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Gardu distribusi terletak di dekat pusat-pusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan (beban) dilayani.

2.2.2 Peralatan Gardu Induk

Peralatan dalam sebuah gardu induk bergantung pada tipe gardu induk, fungsi, serta tingkat proteksi yang diinginkan. Secara umum, sebuah gardu induk memiliki peralatan utama sebagai berikut:

1. Transformator daya

Transformator ini berfungsi menyalurkan besaran daya tertentu dengan mengubah besaran tegangannya baik menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Transformator daya yang digunakan di gardu induk ada yang berupa satu transformator 3 fasa ataupun tiga transformator 1 fasa. Kelebihan menggunakan transformator 1 fasa yaitu apabila diperlukan transformator cadangan, maka untuk transformator 1 fasa cukup ditambahkan satu transformator 1 fasa saja sehingga menjadi empat transformator 1 fasa, jadi sangat ekonomis. Namun, jika dalam suatu gardu induk terdapat banyak transformator, maka transformator 3 fasa lebih menguntungkan. Pada saat ini transformator 3 fasa lebih banyak digunakan.

2. Circuit Breaker (CB)

Circuit Breaker merupakan peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memutuskan hubungan antara sisi sumber tenaga listrik dan sisi beban. Circuit Breaker dapat membuka atau menutup rangkaian baik pada kondisi kerja normal maupun pada saat terjadi kegagalan.

3. Disconnecting Switch (DS)

Disconnecting Switch merupakan peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban. Disconnecting Switch terpasang di antara sumber tenaga listrik dan CB serta di antara CB dan beban dilengkapi dengan Earthing Switch. Pada umumnya DS tidak dapat memutuskan arus. Meskipun ia dapat memutuskan arus yang kecil, misalnya arus pembangkitan trafo atau arus pemuatan riil, namun membuka atau menutup DS harus dilakukan setelah membuka CB terlebih dahulu. Untuk menjamin agar kesalahan urutan operasi tidak terjadi, maka harus ada keadaan saling mengunci (interlock) antara CB dan DS. Di dalam rangkaian kontrolnya,

rangkaian interlock akan mencegah bekerjanya DS apabila CB masih dalam keadaan tertutup.

4. Trafo ukur

Trafo ukur berfungsi sebagai mengukur tegangan atau arus listrik. Trafo ukur terdiri dari trafo arus (current transformer) dan trafo tegangan (potential transformer). Penggunaan trafo ukur dikoordinasikan dengan alat ukur (meter) sehingga besaran arus atau tegangan pada sistem dapat ditampilkan pada alat ukur, yaitu dengan terlebih dahulu mengkonversikan besaran tersebut ke besaran yang lebih kecil yang dapat diterima oleh alat ukur.

5. Lightning Arrester

Lightning Arrester (LA) merupakan peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir). Bila terjadi surja atau petir, maka arrester berfungsi melepaskan muatan listrik (discharge), serta mengurangi tegangan berlebih yang akan mengenai peralatan di dalam gardu induk.

2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai penyalur tenaga listrik dari sumber daya listrik besar seperti halnya gardu induk sampai menuju beban atau konsumen.

Secara umum fungsi sistem distribusi adalah :

- 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan)
- 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Dalam pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beban, di Indonesia dalam hal ini PT. PLN menggunakan tegangan di level 20kV untuk penyaluran distribusi primer dan level tegangan 220/380V untuk penyaluran distribusi sekunder.

Pada level tegangan 20kV atau jaringan distribusi primer, terdapat beberapa macam bentuk jaringan yang digunakan. Secara mendasar tipe jaringan dibedakan menjadi jaringan radial, jaringan lingkaran (loop) jaringan spindel dan jaringan gugus.

2.3.1 Sistem Radial

Sistem yang paling sering digunakan adalah sistem distribusi radial karena sistem tersebut yang paling sederhana dan paling murah untuk dibangun. Selain itu operasi dan ekspansi sistem lebih sederhana. Sistem radial tidak dapat diandalkan seperti kebanyakan sistem kecuali komponen yang digunakan memiliki kualitas yang baik. Kesalahan atau kehilangan kabel, pasokan utama, atau transformator akan mengakibatkan pemadaman pada semua beban yang dilayani oleh feeder. Selain itu, layanan listrik akan terputus ketika setiap melakukan pemeliharaan.

Sistem radial dapat ditingkatkan dengan memasang circuit breaker otomatis yang akan Reclose penyulang pada interval yang telah ditentukan. Jika kesalahan berlanjut setelah jumlah yang telah ditetapkan, maka circuit breaker akan mengunci dan memutus jaringan hingga gangguan tidak ada.

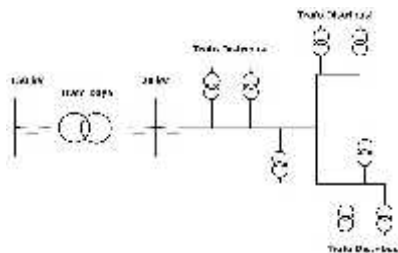
Selain menggunakan recloser untuk meningkatkan keandalan, pada jaringan radial juga dipasang line switch berupa load breaker switch, sectionalizer yang berfungsi sebagai melokalisasi daerah gangguan. Sehingga daerah selain daerah gangguan dapat beroperasi normal.

Sistem radial kemudian dikelompokkan menjadi beberapa tipe:

- a) Sistem radial pohon
- b) Sistem radial dengan tie dan switch pemisah
- c) Sistem radial dengan pembagi fasa area

2.3.1.1 Sistem Radial Pohon

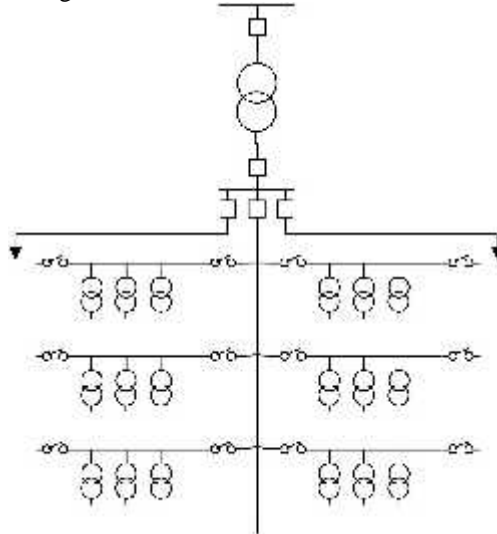
Saluran utama diambil dari gardu induk, kemudian dicabangkan melalui saluran cabang (lateral feeder). Selanjutnya di cabangkan lagi melalui sub cabang (sublateral feeder).



Gambar 2. 2 Sistem Radial Pohon

2.3.1.2 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah

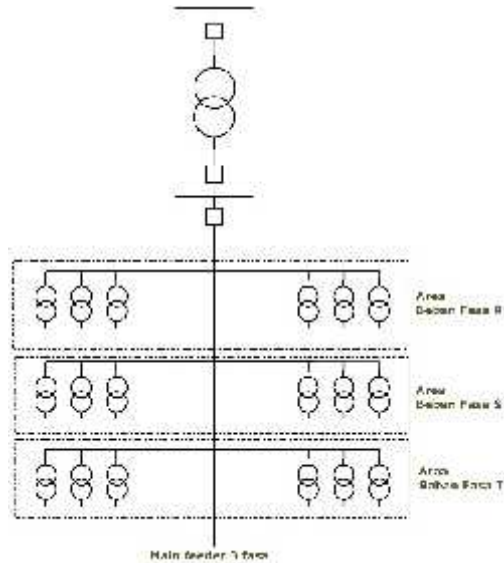
Sistem ini merupakan pengembangan dari sistem radial pohon. Penambahan Tie dan Switch yang digunakan untuk melokalisir gangguan bertujuan untuk meningkatkan keandalan sistem.



Gambar 2. 3 Sistem Radial dengan Tie dan Switch Pemisah

2.3.1.3 Sistem Radial dengan Pembagi Fasa Area

Pada sistem ini tiap fasa melayani daerah beban yang berbeda, tetapi hal ini meyebabkan kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang.



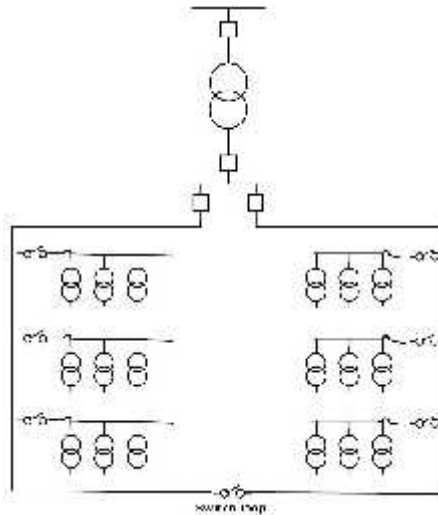
Gambar 2. 4 Sistem Radial dengan Pembagian Fasa

2.3.2 Sistem Lingkaran (*loop*)

Sistem distribusi lingkaran atau loop dimulai dari gardu induk dan terhubung melingkar mengelilingi area beban atau beberapa trafo distribusi dan akhirnya konduktor sistem akan kembali lagi ke gardu induk.

Pada dasarnya, sistem jaringan loop merupakan sistem jaringan radial dimana kedua sistem jaringan radial terhubung dengan switch. Keandalan konfigurasi sistem loop lebih baik daripada sistem radial.

Berdasarkan sumbernya, sistem loop dibedakan menjadi dua tipe yaitu loop one source dan loop different source. Perbedaan antara loop one source dan loop different source adalah terletak pada transformator pencatu dayanya. Pada loop one source transformator yang digunakan untuk mensuplai jaringan loop hanya satu dari gardu induk, sedangkan untuk loop different source menggunakan dua transformator yang berbeda baik kedua transformator tersebut berada dalam satu gardu induk atau dengan gardu induk yang berbeda.



Gambar 2. 5 Sistem Loop

Pembangunan jaringan sistem loop lebih mahal dibanding dengan jaringan sistem radial, tetapi kehandalan akan lebih baik dibanding dengan sistem jaringan radial. Biasanya pemakaian sistem jaringan loop dipakai di daerah yang memiliki kontinuitas layanan yang cukup penting, misalnya rumah sakit atau pusat kota.

2.3.3 Sistem Spindel

Sistem Spindel adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola Radial dan loop. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH). Pada sebuah spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (express) yang akan dihubungkan melalui gardu hubung. Pola Spindel biasanya digunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tanah/saluran kabel tanah tegangan menengah (SKTM). Namun pada pengoperasiannya, sistem Spindel berfungsi sebagai sistem Radial. Di dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

2.3.4 Sistem Gugus atau Kluster

Konfigurasi Gugus banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai kekonsumen.

2.4 Komponen pada SUTM

Di Indonesia, pada umumnya tegangan operasi SUTM adalah 6 KV dan 20 KV. Namun secara berangsur-angsur tegangan operasi 6 KV dihilangkan dan saat ini hampir semuanya menggunakan tegangan operasi 20 KV.

Transmisi SUTM digunakan pada jaringan tingkat tiga, yaitu jaringan distribusi yang menghubungkan dari Gardu Induk, Penyulang (Feeder), SUTM, Gardu Distribusi, sampai dengan ke Instalasi Pemanfaatan (Pelanggan/ Konsumen).

2.4.1 Peralatan Hubung (*Switch*)

Pada jaringan SUTM digunakan juga peralatan switching untuk optimasi operasi distribusi. Peralatan switching yang digunakan antara lain: Pemutus Beban (Load Break Switch : LBS), selain LBS dapat juga pemutus Disconnecting Switch (DS)

2.4.1.1 Load Break Switch (LBS)

Load Break Switch (LBS) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fase yang ditempatkan di luar ruas pada tiang pancang, yang dikendalikan secara elektronis. Switch dengan penempatan di atas tiang pancang ini dioptimalkan melalui kontrol jarak jauh dan skema otomatisasi.

LBS dipasang pada saluran radial interkoneksi yaitu terdiri lebih dari satu saluran radial tunggal.

2.4.2 Peralatan Proteksi SUTM

2.4.2.1 Pemisah dengan Pengaman Lebur (*Fuse Cut Out*)

Fuse Cut Out (FCO) sebagai pengaman penyulang, bila terjadi gangguan di gardu (trafo distribusi) dan melokalisir gangguan di trafo agar peralatan tersebut tidak rusak. FCO sendiri merupakan sebuah alat pemutus rangkaian listrik yang berbeban pada jaringan distribusi yang

bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (fuse link) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan dengan ukurannya itu. Disamping itu FCO merupakan peralatan proteksi yang bekerja apabila terjadi gangguan arus lebih. Alat ini akan memutuskan rangkaian listrik yang satu dengan yang lain apabila dilewati arus yang melewati kapasitas kerjanya

2.4.2.2 Pemutus Balik Otomatis (PBO, Automatic Recloser)

Penutup balik otomatis (PBO, automatic circuit recloser) digunakan sebagai pelengkap untuk pengamanan terhadap gangguan temporer dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan.

Saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui PBO sangat besar sehingga menyebabkan kontak PBO terbuka (trip). Kontak akan kembali menutup dalam selang waktu tertentu atau waktu seting. Hal ini bertujuan untuk melokalisasi gangguan yang bersifat temporer. Jika gangguan masih terdeteksi maka PBO akan terbuka dan terkunci sampai gangguan dihilangkan.

2.4.2.3 Saklar Seksi Otomatis (Sectionalizer)

Saklar seksi otomatis (SSO, Sectionalizer) adalah alat pemutus untuk mengurangi luas daerah yang padam karena gangguan. Ada dua jenis SSO yaitu dengan pengindera arus yang disebut Automatic Sectionalizer dan pengindera tegangan yang disebut Automatic Vacum Switch (AVS). Agar SSO berfungsi dengan baik, harus dikoordinasikan dengan PBO (recloser) yang ada di sisi hulu. Apabila SSO tidak dikoordinasikan dengan PBO, SSO hanya akan berfungsi sebagai saklar biasa.

2.5 Gangguan pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari keadaan normal. Berdasarkan ANSI/IEEE Std 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Hubung singkat ialah suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda.

Penyebab terjadinya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV adalah gangguan yang berasal dari dalam sistem itu sendiri dan gangguan yang berasal dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan dan kerusakan dari peralatan pemutus beban. Gangguan yang berasal dari luar sistem dapat disebabkan oleh sentuhan pohon atau ranting pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain.

2.5.1 Jenis Gangguan

Lama dari gangguan yang terjadi pada sistem distribusi 20 kv dapat dibedakan menjadi 2 yaitu:

- 1) Gangguan permanen (dapat disebabkan oleh kerusakan peralatan, gangguan baru akan hilang setelah kerusakan diperbaiki). Gangguan yang bersifat permanen (persistent), yaitu gangguan yang bersifat tetap. Agar jaringan dapat berfungsi kembali, maka perlu dilaksanakan perbaikan dengan cara menghilangkan gangguan tersebut. Gangguan ini akan menyebabkan terjadinya pemadaman tetap pada jaringan listrik dan pada titik gangguan akan terjadi kerusakan yang permanen. Contoh: menurunnya kemampuan isolasi padat atau minyak trafo. Di sini akan menyebabkan kerusakan permanen pada trafo, sehingga untuk dapat beroperasi kembali harus dilakukan perbaikan.
- 2) Gangguan temporer (gangguan yang tidak akan lama dan dapat normal atau hilang dengan sendirinya yang disusul dengan penutupan kembali peralatan hubungannya). Gangguan yang bersifat temporer, timbulnya gangguan bersifat sementara, sehingga tidak memerlukan tindakan. Gangguan tersebut akan hilang dengan sendirinya dan jaringan listrik akan bekerja normal kembali. Jenis gangguan ini ialah : timbulnya flashover antar penghantar dan tanah (tiang, traverse atau kawat tanah) karena sambaran petir, flashover dengan pohon-pohon, dan lain sebagainya.

Sedangkan dari jenis gangguan hubung singkat yang dapat terjadi dibagi menjadi:

- 1) Gangguan satu fasa ke tanah
- 2) Gangguan dua fasa ke tanah
- 3) Gangguan fasa ke fasa

4) Gangguan tiga fasa ke tanah

2.5.1.1 Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah terjadi apabila terdapat satu fasa yang menyentuh tanah yang menyebabkan aliran menuju ke tanah. Gangguan satu fasa akan menyebabkan tegangan fasa yang lainnya akan meningkat sehingga dapat digolongkan menjadi hubung singkat tak simetri. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah merupakan gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik.

2.5.1.2 Gangguan Dua Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah terjadi apabila terdapat dua fasa yang menyentuh tanah. gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri)

2.5.1.3 Gangguan Fasa ke Fasa

Gangguan hubung singkat fasa ke fasa merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya antara penghantar fasa yang satu dengan penghantar fasa yang lainnya, sehingga terjadi arus lebih (over current). Gangguan hubung singkat fasa ke fasa termasuk gangguan hubung singkat tak simetri (asimetri).

2.5.1.4 Gangguan Tiga Fasa ke Tanah

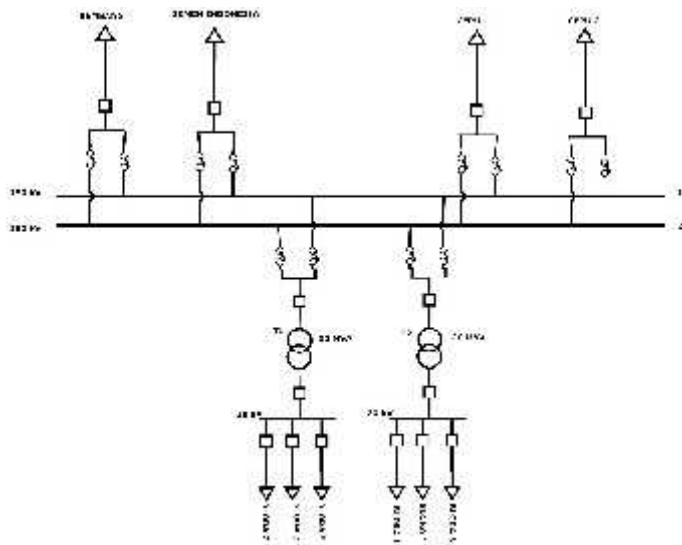
Gangguan hubung singkat tiga fasa merupakan gangguan hubung singkat yang terjadi karena bersentuhannya ketiga penghantar fasa, gangguan ini dapat diakibatkan oleh tumbangnya pohon yang kemudian menimpa kabel jaringan, sehingga memutus kabel fasa secara bersamaan. Gangguan ini termasuk gangguan hubung singkat simetri.

BAB III

SISTEM DISTRIBUSI 20 KV RAYON BLORA DAN KEANDALANYA

3.1 Sistem Tenaga Listrik

PT. PLN (persero) Rayon Blora terdapat 6 penyulang yang disalurkan melalui 2 buah trafo penurun tegangan 150/20 kV dari Gardu Induk Blora. Masing – masing trafo penurun tegangan terdapat 3 penyulang. Trafo 1 yang memiliki daya 60 MVA terdapat penyulang Blora 2, Blora 3 dan Blora 5. Sedangkan trafo 2 memiliki daya lebih kecil dibandingkan dengan trafo 1 yaitu sebesar 30 MVA. Trafo 2 terdapat penyulang Blora 1, Blora 4 dan Blora 6.



Gambar 3. 1 SLD GI Blora

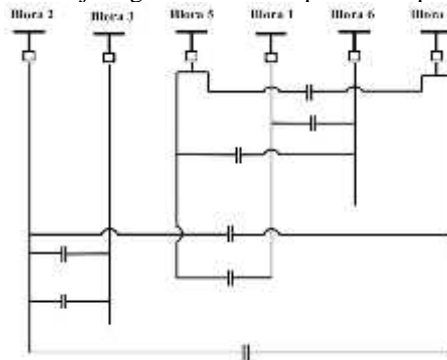
Kondisi beban kelistrikan rayon Blora bahwa beban konsumen kelistrikannya adalah dipergunakan oleh beban rumah tangga kurang lebih sebanyak 90% dari total pembebanannya. Beban di rayon Blora hampir tidak ada beban besar layaknya pabrik yang sering di jumpai di kota – kota di Jawa Timur. Meskipun demikian keandalan sistem

distribusi tetap harus dijaga dan ditingkatkan untuk menjaga kontinuitas dan kepuasan pelanggan.

Berdasarkan gambar 3.1 dapat diketahui bahwa kelistrikan kabupaten Blora disuplai dari sistem transmisi 150 kV PLN Rembang dan Cepu. Akan tetapi normal pengoperasian sistem transmisinya GI Blora mendapat aliran daya dari transmisi 150 kV Rembang I, sedangkan transmisi Rembang II dilewatkan ke Semen Indonesia terlebih dahulu kemudian baru masuk ke GI Blora. Pengoperasian normalnya transmisi dari GI Blora dengan GI Cepu adalah tidak terhubung. Suplai dari transmisi 150 kV akan diturunkan tegangannya menggunakan trafo penurun tegangan ke 20 kV dengan kapasitas masing – masing trafo. Selanjutnya dari 20 kV akan disalurkan ke masing – masing penyulang untuk didistribusikan.

3.2 Bentuk Jaringan Sistem Distribusi 20 kV

Sistem distribusi tenaga listrik 20kV di Blora di suplai dari enam penyulang. Tiap penyulang akanmenyalurka ke titik – titik beban atau gardu distribusi. Bentuk jaringan distribusi dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Bentuk jaringan distribusi

Dalam keadaan normal, bentuk jaringan pada gambar 3.2 dioperasikan seperti bentuk jaringan radial.

3.3 Definisi dalam Keandalan Distribusi

Arti dari keandalan memiliki bermacam – macam artian, salah satunya keandalan menyatakan kemungkinan bekerjanya suatu peralatan atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsinya pada selang waktu

tertentu dan pada kondisi tertentu. Keandalan juga dapat dipergunakan sebagai perbandingan suatu peralatan atau suatu sistem satu dengan yang lainnya. Keandalan suatu sistem distribusi ditentukan oleh keandalan dari komponen- komponen yang membentuk suatu sistem distribusi.

Dari artian keandalan yang menyatakan kemungkinan bekerjanya suatu peralatan atau sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsinya pada selang waktu tertentu dan pada kondisi tertentu, maka dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Keandalan suatu komponen perlu dilihat apakah suatu komponen dapat melakukan fungsinya secara baik pada jangka waktu tertentu.
- Keandalan setiap peralatan sangat bergantung pada kondisi operasional lingkungan, termasuk pengoperasian dan penyimpanan dsb.
- Keandalan akan menurun sesuai dengan berjalannya waktu atau bertambahnya usia peralatan

3.4 Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Indeks Keandalan

Ada beberapa istilah yang digunakan untuk memahami beberapa factor yang dapat mempengaruhi indeks keandalan dalam suatu sistem distribusi.

- *Outage / Keluar*
Keadaan dimana suatu komponen tidak dapat berfungsi dengan semestinya yang diakibatkan oleh beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen itu sendiri. Terjadinya *outage* dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman terhadap sistem distribusi hal ini tergantung dari konfigurasi sistem distribusi yang digunakan.
- *Schedule Outage*
Outage yang dihasilkan karena ada pelepasan suatu komponen yang disengaja pada waktu – waktu tertentu sesuai jadwal yang telah ditentukan. Hal ini berkaitan dengan adanya perbaikan atau pemeliharaan peralatan.
- *Forced Outage*
Outage yang dihasilkan karena keadaan darurat yang secara langsung berhubungan dengan suatu komponen dimana diperlukan komponen tersebut untuk dilepaskan secara paksa dengan segera dari sistem. Hal ini biasanya terjadi disebabkan

kesalahan dalam pengoperasian peralatan ataupun kesalahan manusia.

- *Interruption* / Pemadaman
Pemutus kerja / pemadaman pada suatu konsumen atau fasilitas sebagai akibat dari *outage* yang terjadi pada satu atau lebih komponen.
- *scheduled interruption*
Pemadaman yang disebabkan oleh *scheduled outage*.
- *forced interruption*
Pemadaman yang disebabkan oleh *forced outage*.
- *failure rate* (λ).
Jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi pada sebuah komponen dalam kurun waktu tertentu. Umumnya waktu dinyatakan dalam year dan *failure rate* dinyatakan dalam *failure/year*
- *outage time* (r).
Waktu yang digunakan untuk memperbaiki atau mengganti bagian dari peralatan akibat terjadi kegagalan atau periode dari saat permulaan peralatan mengalami kegagalan sampai saat peralatan dioperasikan kembali sebagaimana mestinya (*outage time* umum dinyatakan dalam *hours/failure*).
- *annual outage time* (U)
Lama terputusnya pasokan listrik rata-rata dalam kurun waktu tertentu (umumnya *annual outage time* dinyatakan dalam *hours/year*).
- *energy not supplied* (ENS)
Jumlah energi listrik yang tidak tersalurkan sebagai akibat dari pemadaman yang terjadi (*energy not supplied* dinyatakan dalam kWh/year).

3.5 Definisi Indeks Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Indeks keandalan adalah besaran yang digunakan untuk mengukur nilai tingkat keandalan suatu sistem. Dasar indeks keandalan sistem distribusi untuk mengukur tingkat keandalan antara lain :

- λ = frekuensi kegagalan tahunan rata – rata
- r = lama terputusnya pasokan listrik rata-rata (*hours/year*)
- U = lama / durasi terputusnya pasokan listrik tahunan rata-rata (*hours/year*)

Sedangkan indeks-indeks keandalan yang digunakan untuk menghitung performa keandalan sistem secara keseluruhan antara lain :

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)
- SAIDI (System Average Interruption Duration Index)
- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)
- AENS (Average Energy Not Supplied)

3.5.1 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Merupakan jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi pada tiap pelanggan yang dilayani dalam satu tahun. Nilai SAIFI dapat diperoleh dari menghitung total frekuensi pemadaman konsumen dalam satu tahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani. Persamaan SAIFI dapat ditulis sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{\sum(\lambda_i \times N_i)}{\sum N}$$

Dimana :

SAIFI = (*failure/year customer*)

= Indeks kegagalan rata – rata per tahun (*failure/year*)

Ni = Jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

N = Total jumlah konsumen yang dilayani

3.5.2 SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Merupakan durasi lamanya gangguan sistem rata-rata tiap tahun. Nilai SAIDI dapat diperoleh dari total durasi gangguan dalam satu tahun dibagi dengan jumlah total konsumen. Persamaan SAIDI dapat ditulis sebagai berikut :

$$SAIDI = \frac{\sum(U_i \times N_i)}{\sum N}$$

Dimana :

SAIDI = (*hour/year customer*)

U = Durasi kegagalan rata- rata per tahun (*hour/year*)

Ni = Jumlah konsumen yang mengalami pemadaman

N = Total jumlah konsumen yang dilayani

3.5.3 CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)

Merupakan durasi pemadaman rata-rata konsumen untuk setiap gangguan yang terjadi. Nilai CAIDI dapat diperoleh dari SAIDI dibagi dengan SAIFI. Persamaan Caidi dapat ditulis sebagai berikut :

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$

Dimana :

CAIDI = (hour/customer failure)

3.5.4 AENS (Average Energy Not Supplied)

Merupakan jumlah rata – rata energy listrik yang tidak tersalurkan atau hilangnya energy yang tidak tersalurkan oleh sistem distribusi dalam tiap tahun. AENS dapat diperoleh dari total energy yang tidak tersalurkan dalam satu tahun dibagi dengan jumlah total konsumen yang dilayani. Persamaan AENS dapat ditulis sebagai berikut :

$$AENS = \frac{\sum ENS}{N}$$

Dan

$$ENS = (P_i \times U_i)$$

Dimana :

AENS = (kWh/year customer)

ENS = (kWh)

P = Daya beban

U = Durasi kegagalan rata – rata per tahun

N = Jumlah konsumen padam

3.6 Standart Keandalan Sistem Distribusi 20 kV

Agar dapat mengukur tingkat keandalan suatu sistem distribusi maka diperlukan nilai acuan sehingga dapat menilai sistem tersebut. Berdasarkan standart PLN menetapkan bahwa sistem dalam keadaan baik jika telah memenuhi standart sebagai berikut :

SAIFI : 1,2 kali/pelanggan/tahun

SAIDI : 0,83 jam/pelanggan/tahun

Sedangkan standart menurut IEEE P1366 – 2003, nilai keandalan suatu sistem dikatakan baik jika telah memenuhi sebagai berikut :

SAIFI : 1,26 kali/pelanggan/tahun

SAIDI : 1,9 jam/pelanggan/tahun

Sedangkan parameter – parameter pengukuran laju kegagalan tiap komponen peralatan dan switching time untuk melokalisir gangguan berdasarkan SPLN pada tahun 1985 tentang Keandalan Sistem Distribusi 20 kV dan 6 kV adalah :

Tabel 3. 1 Standart Nilai Laju Kegagalan

Komponen	Lamda
Saluran Udara	0,2/km/tahun
Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun
Sakelar pemisah	0,003/unit/tahun
Trafo distribusi	0,005/unit/tahun
Sakelar beban	0,003/unit/tahun

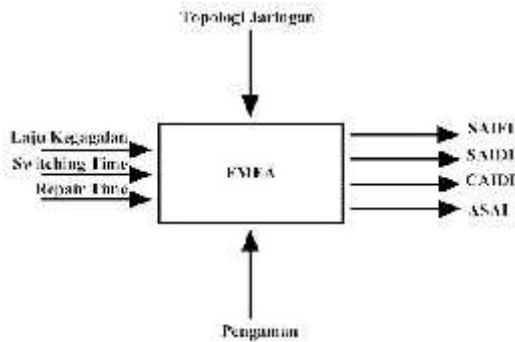
Waktu membuka/menutup sakelar beban atau pemisah adalah 0,15 jam

3.7 Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) adalah suatu pendekatan untuk mengidentifikasi mode – mode kegagalan penyebab kegagalan, serta dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh tiap – tiap komponen terhadap sistem. Identifikasi kegagalan yang akan membimbing langsung kearah penyelesaian dan keseluruhan keandalan sistem.

Metode FMEA diterapkan di dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi didasarkan pada bagaimana kegagalan dari suatu komponen peralatan pada sistem distribusi yang akan mempengaruhi keandalan sistem dalam keseluruhan. Syarat – syarat yang diperlukan dalam menganalisa keandalan sistem distribusi menggunakan metode FMEA aalah sebagai berikut :

- Diperlukan konfigurasi/topologi jaringan penyulang (*feeder*) distribusi 20 kV. Konfigurasi jaringan dapat didefinisikan dalam cabang – cabang, komponen – komponen yang berada pada sistem berupa titik supply, titik beban.
- Untuk tiap – tiap *load point* diperinci data keandalannya seperti indeks kegagalan (*failure rate*) , waktu perbaikan (*repair time*) , dan waktu switching.
- Penjumlahan dari pengaruh kegagalan di tiap titik beban, baik itu *failure rate*, *repair time*.



Gambar 3. 3 Skema FMEA

Indeks *load point* antara lain :

- Frekuensi kegagalan (*failure rate*) untuk tiap load point adalah penjumlahan laju kegagalan semua peralatan yang berpengaruh terhadap load point, dengan persamaan :

$$\lambda_{LP} = \lambda_i$$

Dimana :

λ_i = laju kegagalan untuk peralatan ke i

- Lama atau durasi gangguan tahunan rata – rata untuk load point U_{LP} , dengan persamaan :

$$U_{LP} = U_i = \lambda_i \times r_i$$

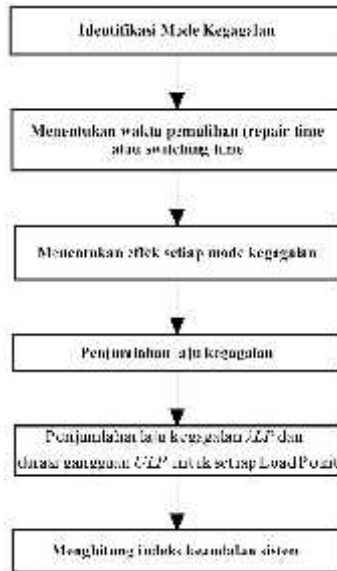
Dimana :

r_i = waktu perbaikan / switching time

Pada dasarnya FMEA mengasumsikan suatu kegagalan pada komponen yang ada pada sistem dan kemudian mengidentifikasi efek yang berdampak pada tiap titik beban akibat kegagalan tersebut. Dengan menggunakan metode ini maka dapat diketahui daerah – daerah mana pada jaringan yang memerlukan evaluasi keandalannya, dapat berupa pemeliharaan jaringan maupun otomatisasi sistem.

3.7.1 Prosedur Metode FMEA

Prosedur pengerjaan menggunakan metode FMEA terlihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3. 4 Prosedur FMEA

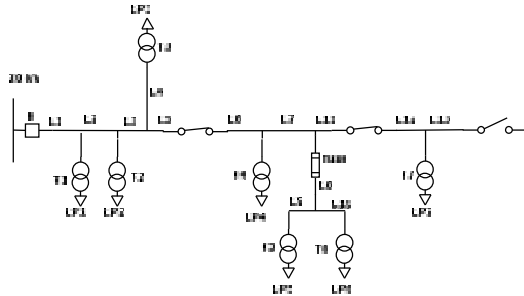
Prosedur dari metode FMEA ini sebagai berikut :

1. Masukkan data topologi jaringan, data konsumen, dan keandalan peralatan.
2. Topologi jaringan diperinci dengan membagi jaringan kedalam beberapa line
3. Asumsikan suatu kegagalan di tiap peraltana secara bergantian
4. Menentukan waktu pemulihan sistem, apakah melalui waktu perbaikan peralatan atau waktu switching
5. Menentukan efek setiap mode kegagalan terhadap load point
6. Hitung frekuensi kegagalan tiap load point dan durasi kegagalan tiap load point

7. Dari indek load point diatas, hitung indeks keandalan keseluruhan sistem

3.8 Contoh Evaluasi Keandalan

Berikut contoh jaringan penyulang yang akan dihitung indek keandalannya menggunakan metode FMEA :



Gambar 3. 5 Contoh jaringan penyulang

Penyulang diatas merupakan contoh penyulang yang memiliki Load Point sebanyak 7 buah. Load Point tersebut di supply dari penyulang utama gardu induk dengan tegangan 20 kV dan 0,38 kV pada load point. Bentuk jaringan penyulang diatas adalah loop akan tetapi pengoperasian dari jaringan penyulang di atas adalah radial dengan tie switch yang open sirkuit.

Penyulang diatas memiliki circuit breaker B yang digunakan untuk mengamankan busbar 20 kV.

Terdapat 2 sectionalizer S1 dan S2 yang dapat mengurangi efek gangguan agar tidak mengganggu load point lain. Sehingga dapat memperkecil wilayah yang terjadi gangguan.

Daya disalurkan menggunakan line 3 fasa untuk L1-L7 dan L11-L13. Sedangkan L8 – L10 menggunakan satu fasa.

Terdapat transformator sebanyak 7 buah. Tiap transformator diberi fuse cut out kecuali T5 dan T6.

Untuk mengilustrasikan bagaimana sistem dioperasikan dalam mode kegagalan peralatan, terdapat beberapa operasi waktu pemulihan sistem.

- Repair time (RT)

Waktu perbaikan adalah lama waktu mulai dari terjadinya kegagalan pada suatu system atau suatu peralatan sampai peralatan atau system

tersebut beroperasi lagi secara normal. Dalam hal ini peralatan dapat digunakan atau diperbaiki atau mengganti peralatan yang rusak.

- Switching time (SwT)

Waktu yang diperlukan operator untuk menemukan gangguan dan memasukkan kembali dengan menggunakan sectionalizer.

Dibawah ini, beberapa mode kegagalan yang dapat terjadi pada suatu system distribusi, didaftarkan bersama-sama dengan efek gangguan tersebut. Ini akan meningkatkan pemahaman untuk evaluasi keandalan.

1. Kegagalan di L1/L2/L3/L4/L5

Breaker B akan membuka dan S1 akan membuka guna mengisolasi daerah yang terjadi gangguan. Maka LP1 dan LP2 akan padam selama waktu perbaikan (RT) L. Sedangkan selain LP1 dan LP2 akan mengalami pemadaman selama waktu switching time B (SwT) sehingga tie switch dapat menutup dan mendapat suplay dari sisi penyulang yang lainnya.

2. Kegagalan di L6/L7/L11

Breaker B akan membuka dan S1 dan S2 akan membuka guna mengisolasi daerah yang terjadi gangguan. Maka LP4-LP6 akan padam selama waktu perbaikan (RT) L. Sedangkan selain LP4-LP6 akan mengalami pemadaman selama waktu switching time B (SwT) sehingga tie switch dapat menutup dan mendapat suplay dari sisi penyulang yang lainnya.

3. Kegagalan di L12/L13

Breaker B akan membuka dan S2 akan membuka guna mengisolasi daerah yang terjadi gangguan. Maka LP7 akan padam selama waktu perbaikan (RT) L. Sedangkan selain LP7 akan mengalami pemadaman sementara selama waktu switching time B (SwT) sehingga dapat tersuplay kembali.

4. Kegagalan di L8/L9/L10

Kegagalan di line L8/L9/L10 akan menyebabkan fuse terputus. Sehingga LP5 dan LP6 mengalami pemadaman selama RT line yang menalami kegagalan. Kegagalan di line distributor ini tidak menyebabkan pemadaman pada LP lainnya karena gangguan dapat dilokalisasi oleh fuse.

5. Kegagalan di S1

Untuk melokalisasi gangguan maka breaker akan membuka dan S2 akan membuka. Setelah itu switch tie akan menutup sehingga LP7 mendapat suplay dari penyulang yang lainnya dan hanya

mendapat SwT. Sedangkan LP lainnya akan padam selama RT sectionalizer S1.

6. Kegagalan di S2

Untuk melokalisir gangguan maka breaker akan membuka dan S1 dan S2 akan membuka. Setelah itu switch tie akan menutup sehingga hanya LP4 – LP6 yang mengalami RT akibat perbaikan S2. Selain LP4-LP6 hanya mengalami SwT.

Berikut mode kegagalan dan pengaruh terhadap sistem :

Tabel 3. 2 mode kegagalan dan pengaruh terhadap sistem

Data Peralatan		Efek Sistem	
No Ganguan	Peralatan	LP dipengaruhi oleh RT	LP dipengaruhi oleh SwT
1	B	LP1,LP2	LP3-LP7
2	T1	LP1	-
3	T2	LP2	-
4	T3	LP3	-
5	T4	LP4	-
6	T5	LP5,LP6	-
7	T6	LP5,LP6	-
8	T7	LP7	-
9	S1	LP4-LP6	LP1-LP3,LP7
10	S2	LP4-LP7	LP1-LP3
11	L1	LP1-LP3	LP4-LP7
12	L2	LP1-LP4	LP4-LP8
13	L3	LP1-LP5	LP4-LP9
14	L4	LP1-LP6	LP4-LP10
15	L5	LP1-LP7	LP4-LP11
16	L6	LP4-LP6	LP1-LP3,LP7
17	L7	LP4-LP7	LP1-LP3,LP7
18	L8	LP5,LP6	LP1-LP4,LP7
19	L9	LP5,LP7	LP1-LP4,LP8
20	L10	LP5,LP8	LP1-LP4,LP9
21	L11	LP4-LP6	LP1-LP3,LP7
22	L12	LP7	LP1-LP6
23	L13	LP7	LP1-LP7

Sedangkan data keandalan peralatan dapat mengacu pada table 3.1 dan data panjang saluran dapat diketahui dengan table berikut :

Tabel 3. 3 Panjang saluran

Saluran	L (KM)
L1	0,1
L2	0,11
L3	0,13
L4	1

Tabel 3. 4 Panjang saluran (lanjutan)

Saluran	L (KM)
L5	0,8
L6	0,6
L7	1
L8	0,3
L9	2,6
L10	1,1
L11	2,3
L12	0,8
L13	0,2

Maka berdasarkan metode FMEA didapatkan perhitungan dengan menggunakan table sebagai berikut :

Tabel 3. 5 Indeks keandalan gambar 3.5

LP	Indeks keandalan LP		Jumlah Pelanggan	Indeks keandalan sistem		
	(failure/year)	U (hour/year)		SAIFI	SAIDI	CAIDI
1	1,423	1,522	11	0,1065	0,1139	0,9350
2	1,423	1,522	10	0,0968	0,1035	0,9350
3	1,423	1,483	23	0,2226	0,2320	0,9599
4	1,423	2,545	30	0,2904	0,5193	0,5592
5	2,228	4,995	38	0,5759	1,2912	0,4461
6	2,228	4,995	20	0,3031	0,6796	0,4461
7	1,423	0,862	15	0,1452	0,0880	1,6503
Total			147			
SAIFI				1,7406		
SAIDI				3,0274		
CAIDI				1,7393		

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PT.PLN RAYON BLORA

Fungsi dilakukannya evaluasi keandalan sistem adalah untuk melihat peforma sistem tersebut. Dalam hal ini peforma yang dilihat adalah peforma sistem waktu yang akan datang. Dalam mengevaluasi sistem distribusi dengan menggunakan FMEA maka metode yang digunakan adalah peramalan atau prediksi sehingga yang diperoleh adalah indeks keandalan untuk prediksi waktu kedepan sesuai dengan topologi dan data-data pendukung lainnya dari sistem tersebut.

Peramalan pada FMEA yang dimaksud adalah dengan mengasumsikan bahwa sistem pengaman bekerja dengan sesuai fungsinya. Hal ini dikarenakan untuk mudah menganalisa dan memperkecil kondisi yang tidak diharapkan saat menganalisa. Karena jika sistem pengaman tidak dalam kondisi yang sesuai fungsinya maka ketika sistem pengaman tidak bekerja dengan semestinya maka akan berdampak pada sistem sehingga dalam menganalisa keandalannya akan lebih kompleks.

Asumsi mode kegagalan pada sistem distribusi guna menganalisa dengan menggunakan metode FMEA adalah dengan mengasumsikan kegagalan pada peralatan yang ada pada sistem distribusi tersebut. Peralatan yang dimaksud adalah meliputi saluran udara, peralatan switching seperti sectionalizer, circuit breaker feeder dan load point trafo distribusi. Komponen peralatan tersebutlah yang akan diasumsikan sebagai penyebab peforma dari sistem.

Dalam upaya untuk perbaikan maka dapat dilakukan dengan cara rekonfigurasi jaringan, hal ini bertujuan mendapatkan solusi optimal dengan membandingkan indeks-indeks keandalan sistem (SAIFI, SAIDI, CAIDI, dan AENS) melalui penempatan sectionalizer dan fuse dengan berbagai alternatif.

4.1 Model Sistem

PT. PLN (persero) Rayon Blora terdapat 6 penyulang yang disalurkan melaui 2 buah trafo penurun tegangan 150/20 kV dari Gardu Induk Blora. Masing – masing trafo penurun tegangan terdapat 3 penyulang. Trafo 1 terdapat penyulang Blora 2, Blora 3 dan Blora 5. Sedangkan trafo 2 terdapat penyulang Blora 1, Blora 4 dan Blora 6

4.2 Penyulang Blora 3

Penyulang Blora 3 memiliki topologi jaringan seperti pada lampiran dengan data penunjang seperti berikut :

Tabel 4. 1 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Blora 3

LP	daya (kva)	jumlah pelanggan	Pembebanan kVA
1	50	44	38,62
2	25	22	19,56
3	50	47	41,56
4	50	43	38,13
5	50	103	90,32
6	100	221	194,53
7	25	51	45,16
8	50	46	40,58
9	25	55	48,63
10	200	395	347,37
11	50	47	41,56
12	50	112	98,42
13	50	43	38,13
14	50	46	40,09
15	50	46	40,58
16	50	46	40,58
17	25	53	46,89
18	50	100	88,00
19	25	49	43,42
20	50	47	41,56
21	50	105	92,63
22	50	42	37,16
23	100	91	80,18

Tabel 4. 2 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Blora 3 (lanjutan)

LP	daya (kva)	jumlah pelanggan	Pembebanan kVA
24	100	211	185,26
25	50	44	39,11
26	200	169	148,62
27	50	112	98,42
28	50	105	92,63
29	50	46	40,09
30	50	101	89,16
31	50	46	40,09
32	50	47	41,07
33	50	42	37,16
34	100	89	78,22
35	50	101	89,16
36	160	149	131,41
37	50	46	40,09
38	50	42	37,16
39	160	358	314,95
40	50	104	91,47
41	50	47	41,56
42	50	45	39,60
43	25	23	19,80
44	50	101	89,16
45	50	44	39,11
46	100	83	73,33
47	50	42	36,67
47b	50	108	94,95

Tabel 4. 3 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Blora 3 (lanjutan)

LP	daya (kva)	jumlah pelanggan	Pembebanan kVA
47c	25	56	49,21
48	50	42	37,16
49	50	109	96,11
50	50	108	94,95
51	50	103	90,32
52	50	45	39,60
53	50	44	39,11
54	50	111	97,26
55	25	21	18,58
56	50	103	90,32
57	50	42	37,16
58	50	107	93,79
59	25	54	47,47
60	50	44	39,11
61	50	46	40,58
62	50	46	40,09
63	25	23	20,53
64	25	23	19,80
65	25	53	46,89
66	160	316	277,89
67	100	203	178,32
68	50	42	37,16
69	50	99	86,84
70	100	203	178,32
71	50	42	36,67

Tabel 4. 4 Data Saluran dan Pelanggan Penyulang Blora 3 (lanjutan)

LP	daya (kva)	jumlah pelanggan	Pembebanan kVA
72	100	221	194,53
73	50	46	40,58
74	100	218	192,21
75	160	135	118,90

Panjang saluran sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Panjang Saluran Penyulang Blora 3

Saluran	L (km)	Saluran	L (km)
L1	0,43	L52	2,48
L2	1,4	L53	2,14
L3	1,37	L54	0,61
L4	1,35	L55	0,67
L5	1,29	L56	0,58
L6	0,44	L57	0,95
L7	1,2	L58	0,52
L8	1,3	L59	0,63
L9	0,42	L60	0,92
L10	0,46	L61	0,71
L11	0,44	L62	0,59
L12	0,47	L63	0,57
L13	0,41	L64	0,61
L14	0,41	L65	0,53
L15	0,47	L66	0,66
L16	0,42	L67	0,71

Tabel 4. 6 Panjang Saluran Penyulang Blora 3 (lanjutan)

Saluran	L (km)	Saluran	L (km)
L17	0,47	L68	0,47
L18	1,5	L69	0,53
L19	0,9	L70	0,59
L20	1,1	L71	0,72
L21	1,7	L72	0,67
L22	1,06	L73	0,83
L23	1,8	L74	0,81
L24	1,03	L75	2,17
L25	1,04	L76	2,54
L26	1,3	L77	0,37
L27	1,4	L78	0,33
L28	1,43	L79	0,32
L29	0,36	L80	0,54
L30	0,71	L81	0,41
L31	0,67	L82	0,45
L32	0,4	L83	0,69
L33	0,46	L84	0,63
L34	0,84	L85	0,36
L35	0,48	L86	0,77
L36	3,91	L87	0,37
L37	0,65	L88	0,55
L38	0,82	L89	0,51
L39	0,81	L90	0,83
L40	0,64	L91	0,81
L41	1,21	L92	0,35
L42	0,45	L93	0,36

Tabel 4. 7 Panjang Saluran Penyulang Blora 3 (lanjutan)

Saluran	L (km)	Saluran	L (km)
L43	0,46	L94	0,48
L44	0,41	L95	0,32
L45	0,53	L96	0,35
L46	0,48	L97	0,39
L47	0,37	L98	0,46
L48	0,42	L99	0,36
L49	0,81	L100	0,34
L50	0,5	L101	0,34
L51	2,41	L102	0,34

Dengan menggunakan nilai laju kegagalan sebagai berikut :

Tabel 4. 8 Standar Laju Kegagalan PLN

Komponen	Lamda
Saluran Udara	0,2/km/tahun
Pemutus tenaga	0,004/unit/tahun
Sakelar pemisah	0,003/unit/tahun
Trafo distribusi	0,005/unit/tahun
Sakelar beban	0,003/unit/tahun

Waktu membuka/menutup sakelar beban atau pemisah adalah 0,15 jam

4.3 Hasil Perhitungan Indeks Keandalan FMEA

4.3.1 Indeks Keandalan Penyulang Blora 3

Melalui data tersebut maka dapat kita hitung indeks keandalan tiap load point-nya dan didapat hasil :

Tabel 4. 9 Hasil Perhitungan Keandalan Feeder Blora 3

LP		U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	8,496	6,4019	44	0,0554	0,0417	1,3271	0,9993	0,0007
LP2	8,847	7,4899	22	0,0292	0,0247	1,1812	0,9991	0,0009
LP3	8,847	7,4899	47	0,0621	0,0526	1,1812	0,9991	0,0009
LP4	8,496	6,4019	43	0,0547	0,0412	1,3271	0,9993	0,0007
LP5	8,496	6,4019	103	0,1296	0,0976	1,3271	0,9993	0,0007
LP6	8,496	6,4019	221	0,2791	0,2103	1,3271	0,9993	0,0007
LP7	9,478	9,4474	51	0,0723	0,0720	1,0032	0,9989	0,0011
LP8	9,478	9,4474	46	0,0649	0,0647	1,0032	0,9989	0,0011
LP9	9,478	9,4474	55	0,0778	0,0776	1,0032	0,9989	0,0011
LP10	8,768	7,2474	395	0,5143	0,4251	1,2098	0,9992	0,0008
LP11	8,768	7,2474	47	0,0615	0,0509	1,2098	0,9992	0,0008
LP12	8,496	14,8959	112	0,1412	0,2475	0,5704	0,9983	0,0017
LP13	8,496	14,8959	43	0,0547	0,0959	0,5704	0,9983	0,0017
LP14	9,08	16,7179	46	0,0615	0,1132	0,5431	0,9981	0,0019
LP15	9,08	16,7179	46	0,0622	0,1145	0,5431	0,9981	0,0019
LP16	9,08	16,7179	46	0,0622	0,1145	0,5431	0,9981	0,0019
LP17	10,34	20,6379	53	0,0819	0,1634	0,5010	0,9976	0,0024
LP18	10,34	20,6379	100	0,1536	0,3067	0,5010	0,9976	0,0024
LP19	10,34	20,6379	49	0,0758	0,1513	0,5010	0,9976	0,0024
LP20	10,34	20,6379	47	0,0726	0,1448	0,5010	0,9976	0,0024
LP21	8,496	14,8959	105	0,1329	0,2330	0,5704	0,9983	0,0017
LP22	8,496	14,8959	42	0,0533	0,0935	0,5704	0,9983	0,0017
LP23	8,496	14,8959	91	0,1150	0,2017	0,5704	0,9983	0,0017
LP24	8,496	15,9401	211	0,2658	0,4986	0,5330	0,9982	0,0018
LP25	8,496	15,9401	44	0,0561	0,1053	0,5330	0,9982	0,0018
LP26	8,496	15,9401	169	0,2132	0,4000	0,5330	0,9982	0,0018

Tabel 4. 10 Hasil Perhitungan Keandalan Feeder Blora 3 (lanjutan)

LP		U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP27	9,408	18,6761	112	0,1563	0,3104	0,5037	0,9979	0,0021
LP28	10,124	20,9641	105	0,1583	0,3279	0,4829	0,9976	0,0024
LP29	10,124	20,9641	46	0,0685	0,1419	0,4829	0,9976	0,0024
LP30	10,124	20,9641	101	0,1524	0,3156	0,4829	0,9976	0,0024
LP31	10,124	20,9641	46	0,0685	0,1419	0,4829	0,9976	0,0024
LP32	10,124	20,9641	47	0,0702	0,1454	0,4829	0,9976	0,0024
LP33	8,496	14,8959	42	0,0533	0,0935	0,5704	0,9983	0,0017
LP34	8,496	14,8959	89	0,1122	0,1967	0,5704	0,9983	0,0017
LP35	8,57	15,1179	101	0,1290	0,2276	0,5669	0,9983	0,0017
LP36	8,496	14,8959	149	0,1885	0,3305	0,5704	0,9983	0,0017
LP37	8,496	14,8959	46	0,0575	0,1008	0,5704	0,9983	0,0017
LP38	8,496	14,8959	42	0,0533	0,0935	0,5704	0,9983	0,0017
LP39	8,496	14,8959	358	0,4518	0,7921	0,5704	0,9983	0,0017
LP40	9,051	16,5959	104	0,1398	0,2563	0,5454	0,9981	0,0019
LP41	9,051	16,5959	47	0,0635	0,1164	0,5454	0,9981	0,0019
LP42	8,496	14,8959	45	0,0568	0,0996	0,5704	0,9983	0,0017
LP43	8,496	22,0163	23	0,0284	0,0736	0,3859	0,9975	0,0025
LP44	8,496	22,0163	101	0,1279	0,3314	0,3859	0,9975	0,0025
LP45	8,496	22,0163	44	0,0561	0,1454	0,3859	0,9975	0,0025
LP46	8,496	22,0163	83	0,1052	0,2726	0,3859	0,9975	0,0025
LP47	8,496	22,6272	42	0,0526	0,1401	0,3755	0,9974	0,0026
LP47b	8,691	23,2078	108	0,1393	0,3721	0,3745	0,9974	0,0026
LP47c	8,691	23,2078	56	0,0722	0,1928	0,3745	0,9974	0,0026
LP48	8,496	22,6272	42	0,0533	0,1420	0,3755	0,9974	0,0026
LP49	9,302	25,5117	109	0,1509	0,4140	0,3646	0,9971	0,0029
LP50	9,302	25,5117	108	0,1491	0,4090	0,3646	0,9971	0,0029

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Keandalan Feeder Blora 3 (lanjutan)

LP		U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP51	9,302	25,5117	103	0,1419	0,3890	0,3646	0,9971	0,0029
LP52	9,302	25,5117	45	0,0622	0,1706	0,3646	0,9971	0,0029
LP53	9,302	25,5117	44	0,0614	0,1685	0,3646	0,9971	0,0029
LP54	9,302	25,5117	111	0,1528	0,4190	0,3646	0,9971	0,0029
LP55	8,708	23,5197	21	0,0273	0,0738	0,3702	0,9973	0,0027
LP56	9,869	27,1077	103	0,1505	0,4134	0,3641	0,9969	0,0031
LP57	9,869	27,1077	42	0,0619	0,1701	0,3641	0,9969	0,0031
LP58	9,869	27,1077	107	0,1563	0,4293	0,3641	0,9969	0,0031
LP59	9,879	27,2077	54	0,0792	0,2181	0,3631	0,9969	0,0031
LP60	9,879	27,2077	44	0,0652	0,1797	0,3631	0,9969	0,0031
LP61	9,869	27,1077	46	0,0676	0,1857	0,3641	0,9969	0,0031
LP62	9,884	27,2577	46	0,0669	0,1845	0,3626	0,9969	0,0031
LP63	9,884	27,2577	23	0,0343	0,0945	0,3626	0,9969	0,0031
LP64	9,884	27,2577	23	0,0330	0,0911	0,3626	0,9969	0,0031
LP65	8,496	22,0163	53	0,0673	0,1743	0,3859	0,9975	0,0025
LP66	8,496	22,0163	316	0,3987	1,0331	0,3859	0,9975	0,0025
LP67	8,496	22,0163	203	0,2558	0,6629	0,3859	0,9975	0,0025
LP68	8,496	22,0163	42	0,0533	0,1381	0,3859	0,9975	0,0025
LP69	8,496	22,0163	99	0,1246	0,3228	0,3859	0,9975	0,0025
LP70	8,496	22,0163	203	0,2558	0,6629	0,3859	0,9975	0,0025
LP71	8,763	22,8523	42	0,0543	0,1415	0,3835	0,9974	0,0026
LP72	8,763	22,8523	221	0,2878	0,7506	0,3835	0,9974	0,0026
LP73	8,496	23,7444	46	0,0582	0,1627	0,3578	0,9973	0,0027
LP74	8,496	23,7444	218	0,2757	0,7706	0,3578	0,9973	0,0027
TOTAL			6730					
SAIFI				8,26				

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Keandalan Feeder Blora 3 (lanjutan)

SAIDI	10,60
CAIDI	1,28
ASAI	0,985
ASUI	0,015

Dari perhitungan didapat bahwa nilai indeks keandalan dari penyulang Blora 3 adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 13 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 3

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN (Maret 2017)
SAIFI	8,264 <i>fail/yr customer</i>	3,27 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	10,60 <i>hr/yr customer</i>	2,53 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	1,28 <i>h/customer failure</i>	1,29 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,985	
ASUI	0,015	

4.3.2 Hasil Perhitungan Indeks keandalan Penyulang Lainnya

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Blora 4 :

Tabel 4. 14 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 2

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN (Maret 2017)
SAIFI	12,66 <i>fail/yr customer</i>	2,53 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	12,59 <i>hr/yr customer</i>	3,27 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	0,998 <i>h/customer failure</i>	1,94 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,998	
ASUI	0,001	

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Blora 4 :

Tabel 4. 15 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 4

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN (Maret 2017)
SAIFI	5,78 <i>fail/yr customer</i>	1,44 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	6,05 <i>hr/yr customer</i>	1,7 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	1,04 <i>h/customer failure</i>	1,40 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,999	
ASUI	0,001	

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Blora 5 :

Tabel 4. 16 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 5

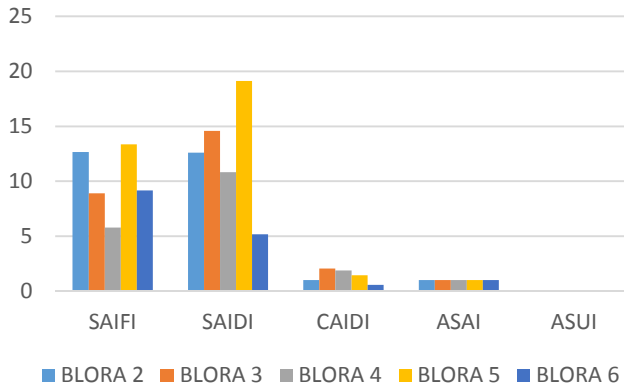
Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN (Maret 2017)
SAIFI	13,35 <i>fail/yr customer</i>	3,15 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	19,13 <i>hr/yr customer</i>	4,06 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	1,432 <i>h/customer failure</i>	1,40 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,997	
ASUI	0,002	

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Blora 6 :

Tabel 4. 17 Nilai Indeks Keandalan Penyulang Blora 6

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem	Hasil PLN (Maret 2017)
SAIFI	5,43 <i>fail/yr customer</i>	2,23 <i>fail/yr customer</i>
SAIDI	4,53 <i>hr/yr customer</i>	3,16 <i>hr/yr customer</i>
CAIDI	0,83 <i>h/customer failure</i>	1,41 <i>h/customer failure</i>
ASAI	0,999	
ASUI	0,0001	

Terlihat perbedaan antara hasil perhitungan keandalan sistem pada tugas akhir ini dengan hasil dari perhitungan PLN. Hal ini dikarenakan perbedaan metode yang digunakan. Pada tugas akhir ini menggunakan metode FMEA yang mengasumsikan kegagalan pada peralatan dan melihat efek yang terjadi pada sistem. Sedangkan pada metode yang digunakan oleh PLN adalah hasil kegagalan nyata yang terjadi di lapangan. Sehingga data yang diperoleh hanya menggambarkan kondisi keandalan sistem yang terjadi saat terjadi kegagalan di beberapa peralatan saja. Sedangkan perbandingan indeks keandalan dari semua penyulang dapat dilihat pada gambar grafik berikut :



Gambar 4. 1 Perbandingan Indeks Keandalan Antar Penyulang

Dilihat dari gambar grafik di atas, jika dibandingkan dengan standar dari SPLN yaitu SAIFI : 1,2 kali/pelanggan/tahun dan SAIDI : 0,83 jam/pelanggan/tahun, indeks keandalan SAIFI untuk semua penyulang melebihi dari standar. Dibandingkan dari semua penyulang yang telah dihitung indeks keandalannya maka dilihat dari sisi SAIFI dan SAIDI penyulang 5 adalah yang terburuk dari yang lainnya. Maka akan dilakukan upaya perbaikan keandalan sistem dari penyulang 5.

4.4 Upaya Meningkatkan Indeks Keandalan

Dalam usaha memperbaiki keandalan suatu sistem tenaga listrik terdapat berbagai cara, cara pertama adalah mengurangi frekuensi terjadinya gangguan, dan cara kedua adalah mengurangi durasi gangguan.

Jika kita ingin mengurangi frekuensi gangguan maka kita dapat menggunakan fuse untuk melokalisir gangguan, jika kita tilik kembali pada metode FMEA maka fungsi fuse sendiri dapat melokalisir gangguan tanpa adanya switching time pada load point sekitar, sehingga dalam perhitungan masing-masing load point akan didapatkan lamda yang lebih kecil. Jika lamda (laju kegagalan) semakin kecil maka frekuensi dari pemadaman juga akan turun.

Jika mengacu pada durasi maka dapat mengurangi durasi akan adanya pemadaman dikarenakan perbaikan komponen yang mengalami

kerusakan dengan penambahan sectionalizer. penambahan sectionalizer jika kita mengacu pada metode FMEA maka dapat diketahui bahwa ketika terjadi kegagalan pada section tertentu dan oleh karena adanya sectionalizer pada section tersebut maka pemadaman dapat dilokalisasi hanya pada section tertentu, oleh karena sectionalizer bekerja ketika tidak ada beban maka section lain hanya akan mengalami switching time oleh karena CB dapat menutup kembali.

4.5 Upaya Meningkatkan Indeks Keandalan Blora 5

Dalam upaya meningkatkan keandalan penyulang Blora 5 adalah dengan mengurangi frekuensi gangguan dan mengurangi durasi gangguan. Hal ini dapat dilakukan dengan penambahan peralatan sectionalizer dan fuse pada titik – titik tertentu yang dianggap memiliki peran menyumbangkan terjadi kegagalan.

Penambahan sectionalizer di titik saluran 234, saluran 239, saluran 165 dan saluran 170. Penempatan pada titik titik tersebut guna memperkecil wilayah lokalisasi jika terjadi gangguan. Yang awalnya jika terjadi kegagalan pada saluran diantara titik 224 – 243 maka section 7 melokalisasi gangguan yang berdampak pemadaman di load point 165 – 244. Dengan menambah sectionalizer di titik 234, 239 maka wilayah dapat diperkecil. Sedangkan jika terjadi gangguan diantara titik saluran 157 – 175 akan berdampak pada load point 109 – 163. Dengan menambah sectionalizer di titik saluran 165 dan 170 maka lokalisasi gangguan dapat diperkecil.

Penambahan fuse diletakkan di saluran satu fasa. Ada beberapa titik yang perlu pemasangan fuse yaitu pada titik saluran 84, 131, 209, 268, 274. Sehingga jika terjadi gangguan di saluran 84-89 atau gangguan di trafo 52 – 57 maka yang berdampak pemadaman adalah 52 – 57 sedangkan awal sebelum pemasangan fuse maka pemadaman dari load point 45 – 57. Begitu pula dengan pemasangan fuse di saluran 131, sebelum pemasangan jika terjadi gangguan trafo 87-92 atau saluran 122-133 maka load point 87 – 97 akan padam. Setelah pemasangan fuse maka pemadaman hanya terjadi di titik 88 -91.

Recloser dipasang di titik saluran 228 sehingga dapat memperkecil jumlah load point yang mengalami switching time akibat membukanya CB untuk mengoperasikan sectionalizer.

Setelah melakukan upaya perbaikan keandalan dengan memasang beberapa peralatan maka dapat diperoleh hasil indeks keandalan penyulang Blora 5 sebagai berikut :

Tabel 4. 18 Sebelum dan Sesudah Perbaikan

Indeks Keandalan	Sebelum Perbaikna	Sesudah Perbaikan
SAIFI	13,35	12,12
SAIDI	19,13	18,19

Setelah melakukan perbaiki nilai keandalan penyulang Blora 5 SAIFI yang sebelumnya memiliki nilai 13,35 membaik menjadi 12,12. Sedangkan nilai SAIDI sebelumnya 19,13 membaik menjadi 18,19. Peningkatan nilai keandalan cukup sedikit dikarenakan masih banyaknya peralatan yang ada di jaringan penyulang Blora 5, sehingga mempengaruhi banyaknya pula penyumbang terjadinya kegagalan.

4.6 Indeks Keandalan Kondisi Lapangan

Laju kegagalan merupakan jumlah rata-rata kegagalan yang terjadi pada sebuah komponen dalam kurun waktu tertentu. Dalam mencari laju kegagalan dalam tugas akhir ini menggunakan riwayat kegagalan dalam satu tahun. Sehingga hasil yang diperoleh menunjukkan keandalan sistem dalam selang waktu satu tahun tersebut. Begitu juga dengan lama terputusnya pasokan listrik rata-rata dalam kurun waktu satu tahun. Didapatkan laju kegagalan seperti pada tabel berikut.

Tabel 4. 19 Laju Kegagalan Setahun

Kegagalan	Saluran Udara	Fuse	Trafo Distribusi
Jumlah	24	18	4
Durasi	21:57:00	10:22:00	1:33:00
	0,0027	0,0021	0,0005
U	0,9147	0,5758	0,3875

Dengan menggunakan laju kegagalan pada Tabel 4.19 maka didapatkan indeks keandalan penyulang Blora 2 sebagai berikut

Tabel 4. 20 Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 2

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem
SAIFI	0,192 fail/yr customer
SAIDI	0,158 hr/yr customer
CAIDI	0,823 h/customer failure
ASAI	0,999
ASUI	0,0001

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Blora 3 :

Tabel 4. 21Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 3

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem
SAIFI	0,124 fail/yr customer
SAIDI	0,231 hr/yr customer
CAIDI	1,852 h/customer failure
ASAI	0,986
ASUI	0,013

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Blora 4 :

Tabel 4. 22 Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 4

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem
SAIFI	0,102 fail/yr customer
SAIDI	0,143 hr/yr customer
CAIDI	1,389 h/customer failure
ASAI	0,999
ASUI	0,0001

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Blora 5 :

Tabel 4. 23 Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 5

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem
SAIFI	0,203 fail/yr customer
SAIDI	0,344 hr/yr customer
CAIDI	1,69 h/customer failure
ASAI	0,999
ASUI	0,00001

Berikut hasil perhitungan indeks keandalan penyulang Blora 6 :

Tabel 4. 24 Indeks Keandalan Lapangan Penyulang Blora 6

Indeks Keandalan	Hasil keandalan sistem
SAIFI	0,099 fail/yr customer
SAIDI	0,153 hr/yr customer
CAIDI	1,534 h/customer failure
ASAI	0,999
ASUI	0,0001

Hasil dari perhitungan indeks keandalan sistem distribusi pada kondisi lapangan masih terbilang handal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa yang telah dilakukan maka didapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada hasil perhitungan keandalan sistem distribusi tenaga listrik 20 kV di Rayon Blora menggunakan metode FMEA adalah sebagai berikut :
 - Penyulang Blora 2 :
SAIFI : 12,66 *failure/year customer*
SAIDI : 12,59 *hour/year customer*
 - Penyulang Blora 3 :
SAIFI : 8,26 *failure/year customer*
SAIDI : 10,60 *hour/year customer*
 - Penyulang Blora 4 :
SAIFI : 5,78 *failure/year customer*
SAIDI : 6,05 *hour/year customer*
 - Penyulang Blora 5 :
SAIFI : 13,35 *failure/year customer*
SAIDI : 19,13 *hour/year customer*
 - Penyulang Blora 6 :
SAIFI : 5,43 *failure/year customer*
SAIDI : 4,53 *hour/year customer*
2. Hasil upaya peningkatan indek keandalan penyulang Blora 5 SAIFI yang sebelumnya memiliki nilai 13,35 membaik menjadi 12,12. Sedangkan nilai SAIDI sebelumnya 19,13 membaik menjadi 18,19
3. Frekuensi kegagalan pada saluran menyumbang frekuensi kegagalan pada sistem yang cukup tinggi dibandingkan dengan frekuensi kegagalan peralatan yang ada di sistem distribusi seperti trafo, switch dan CB sehingga berpengaruh dengan nilai indeks SAIFI. Sedangkan nilai indeks SAIDI juga akan semakin besar mengikuti saluran karena durasi kegagalan yang terjadi. Untuk mengkompensasi besarnya nilai SAIFI dan SAIDI

diperlukan komponen fuse dan sectionalizer agar sistem tetap dalam performa yang handal.

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama lengkap Mokhammad Umar Khusni Nurul Ma'wa. Biasa dipanggil Umar. Lahir di Blora pada tanggal 14 September tahun 1993. Penulis memulai pendidikan di Sekolah Dasar Negeri Tutup I Blora kemudian melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 3 Peterongan Jombang dan Sekolah Menengah Atas di SMA Darul Ulum 2 Jombang. Pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma 3 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Program Studi Komputer Kontrol. Pada tahun 2015 penulis menyelesaikan pendidikan Diploma 3. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke jenjang Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan Program studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro.

Email : umar.khusni@gmail.com

Halaman ini sengaja dikosongkan

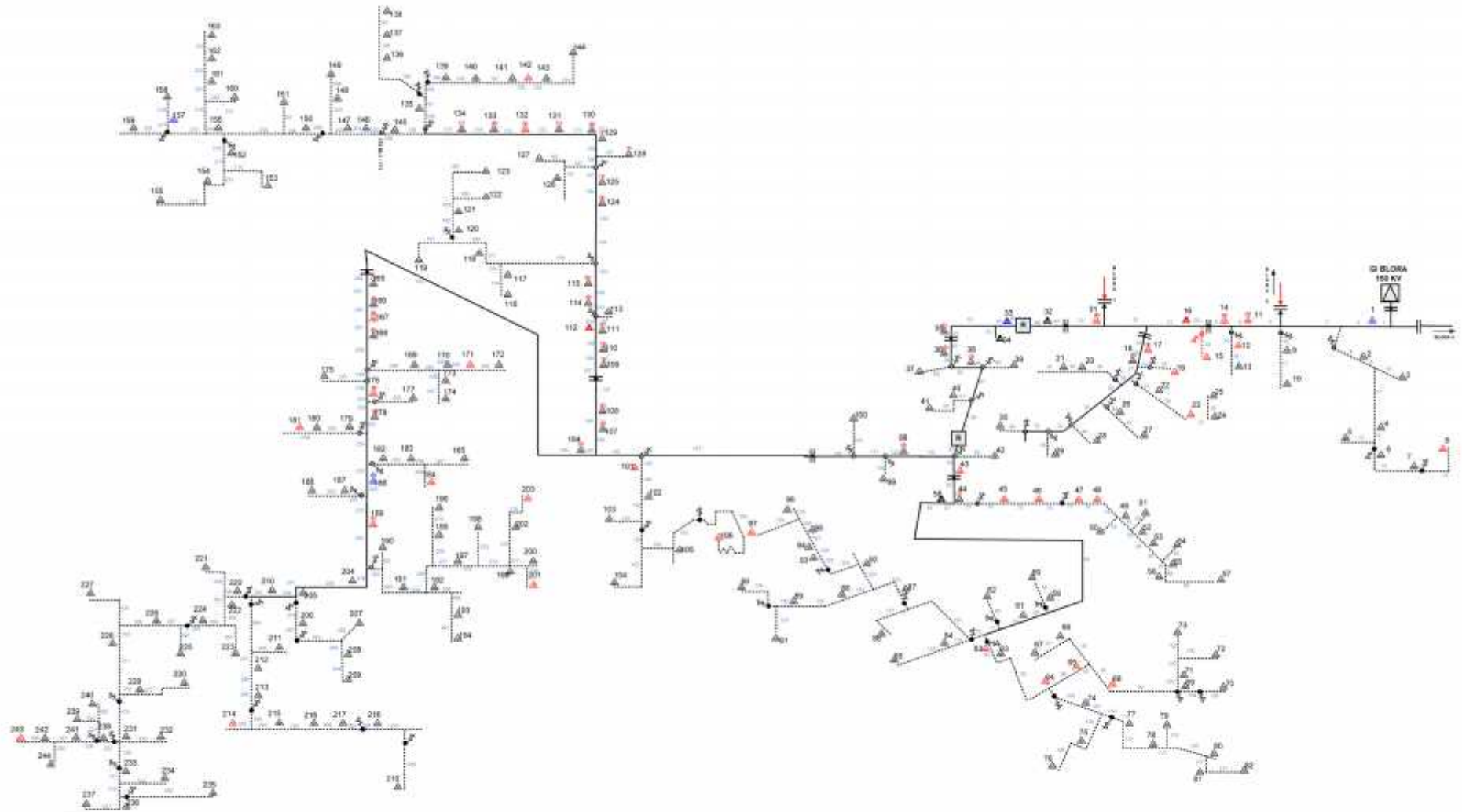
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fatoni, achmad.2015. Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20kv Rayon Lumajang Dengan Metode FMEA.surabaya:ITS
- [2] Engelberth, tigor.2012.analisis keandalan system distribusi 20KV di PT.PLN(Persero) area jaringan bali selatan dengan menggunakan metode FMEA.surabaya:ITS
- [3] Nugroho, andhito sukmojo.2012.Studi keandalan sistem distribusi 20Kv di Bengkulu dengan metode FMEA.surabaya:ITS
- [4] H.-C. Liu, J.-X. You, P. Li, and Q. Su, "Failure Mode and Effect Analysis Under Uncertainty: An Integrated Multiple Criteria Decision Making Approach," IEEE Trans. Reliab., vol. 65, no. 3, pp. 1380–1392, Sep. 2016.
- [5] Roy Billinton and Ronald N allan.1996.Reliability evaluation of power systems.New York:Plenum Press
- [6] Suhadi, dkk.2008.Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 2.Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Halaman ini sengaja dikosongkan

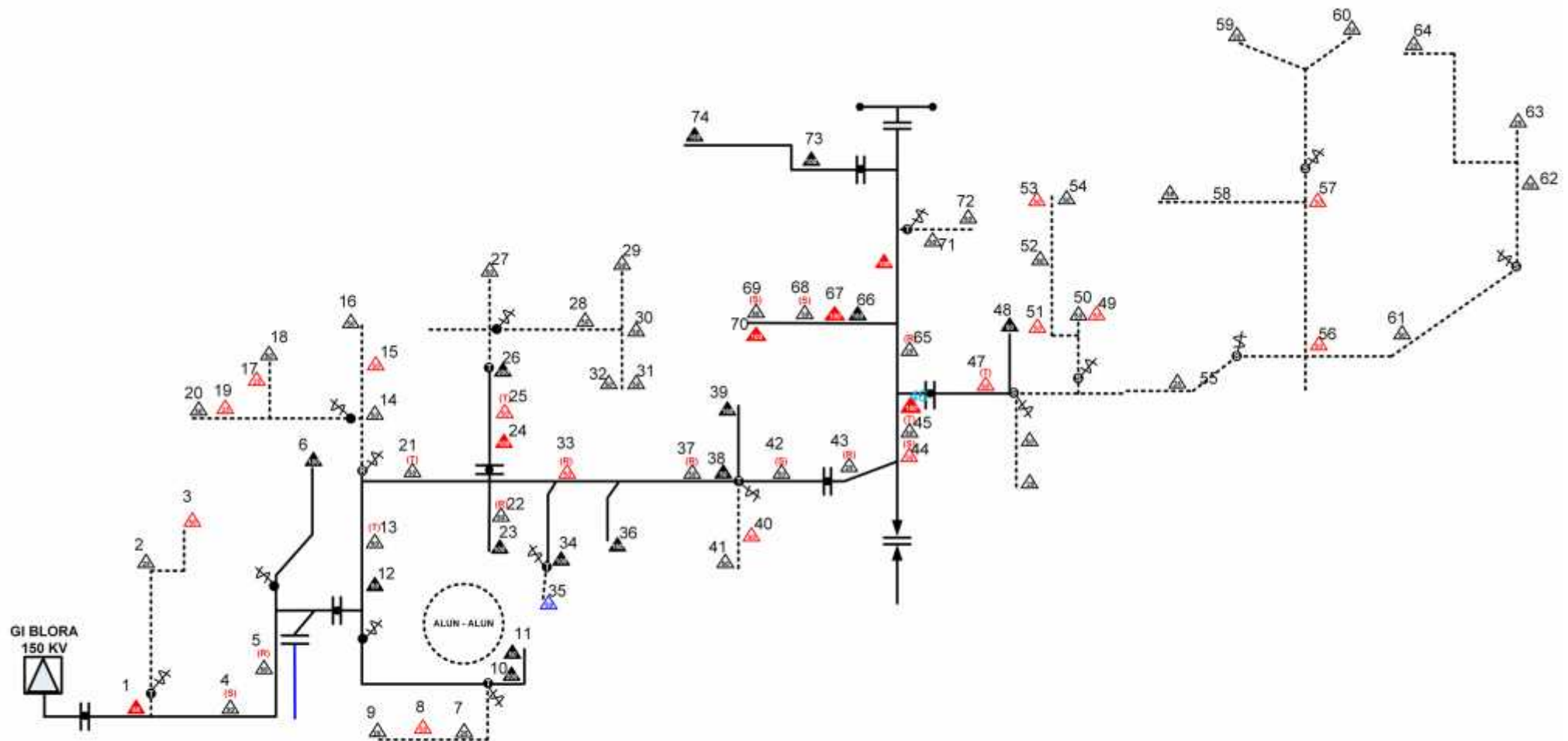
LAMPIRAN

1) Topologi Jaringan Penyulang Blora 2



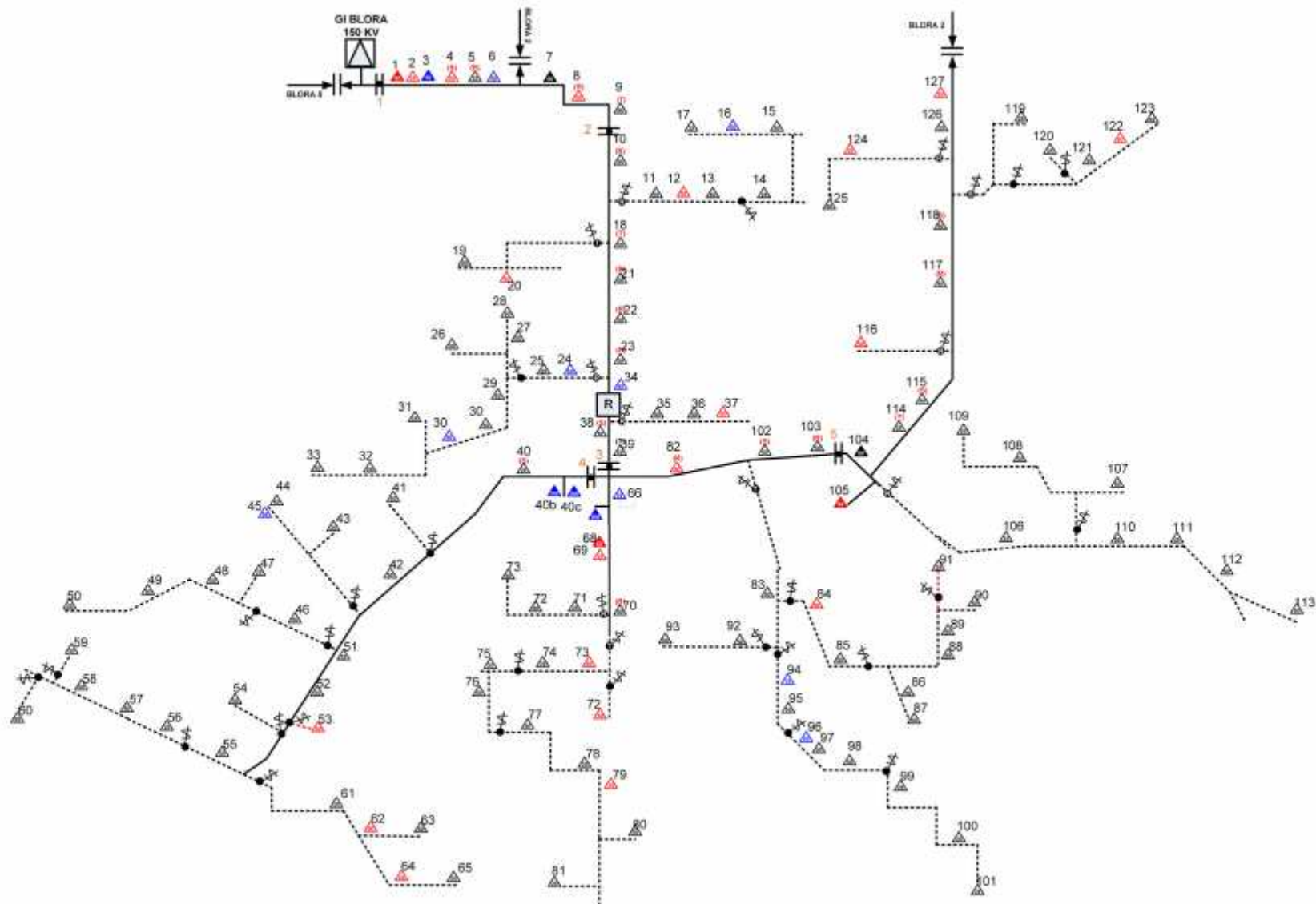
Halaman ini sengaja dikosongkan

2) Topologi Jaringan Penyulang Blora 3



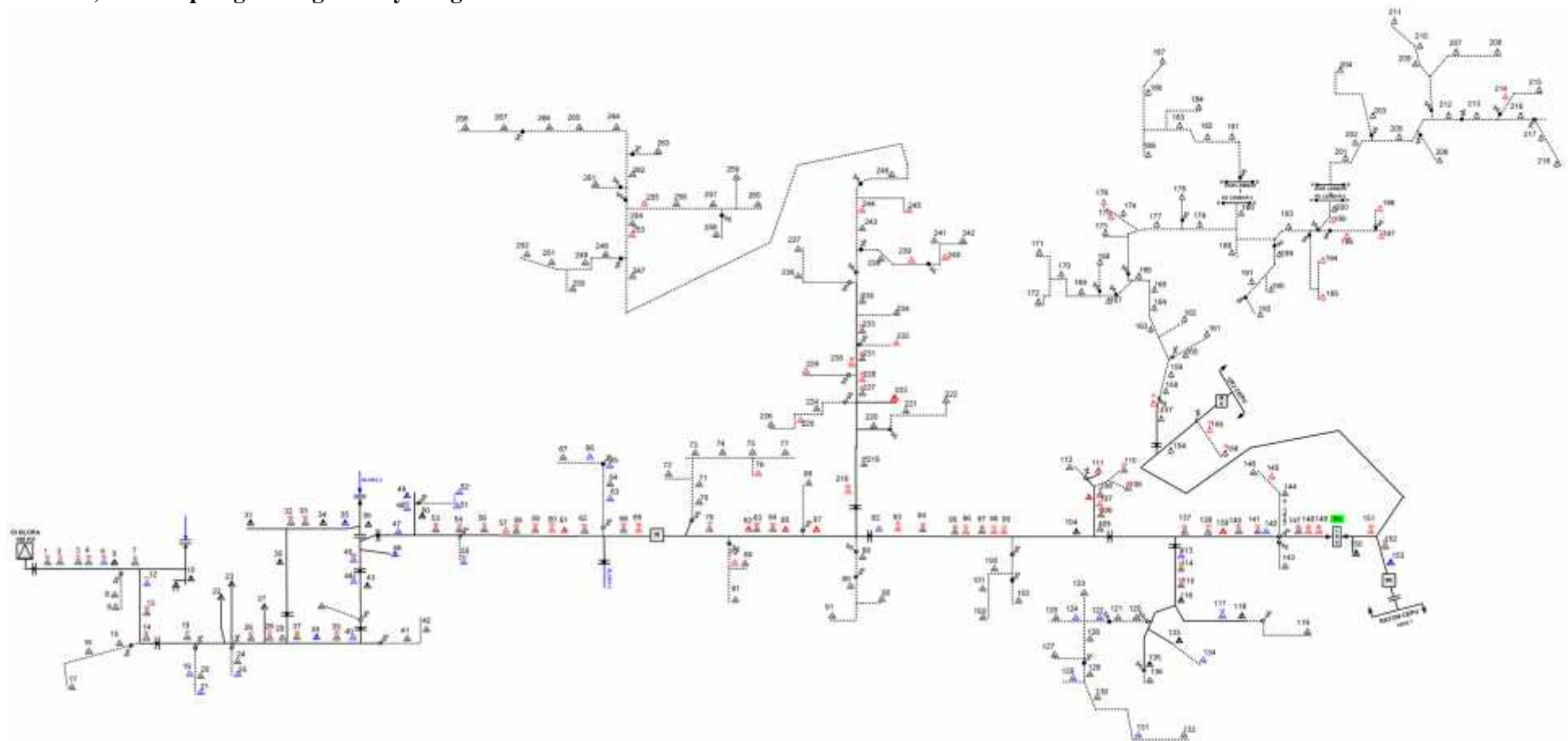
Halaman ini sengaja dikosongkan

3) Topologi Jaringan Penyulang Blora 4



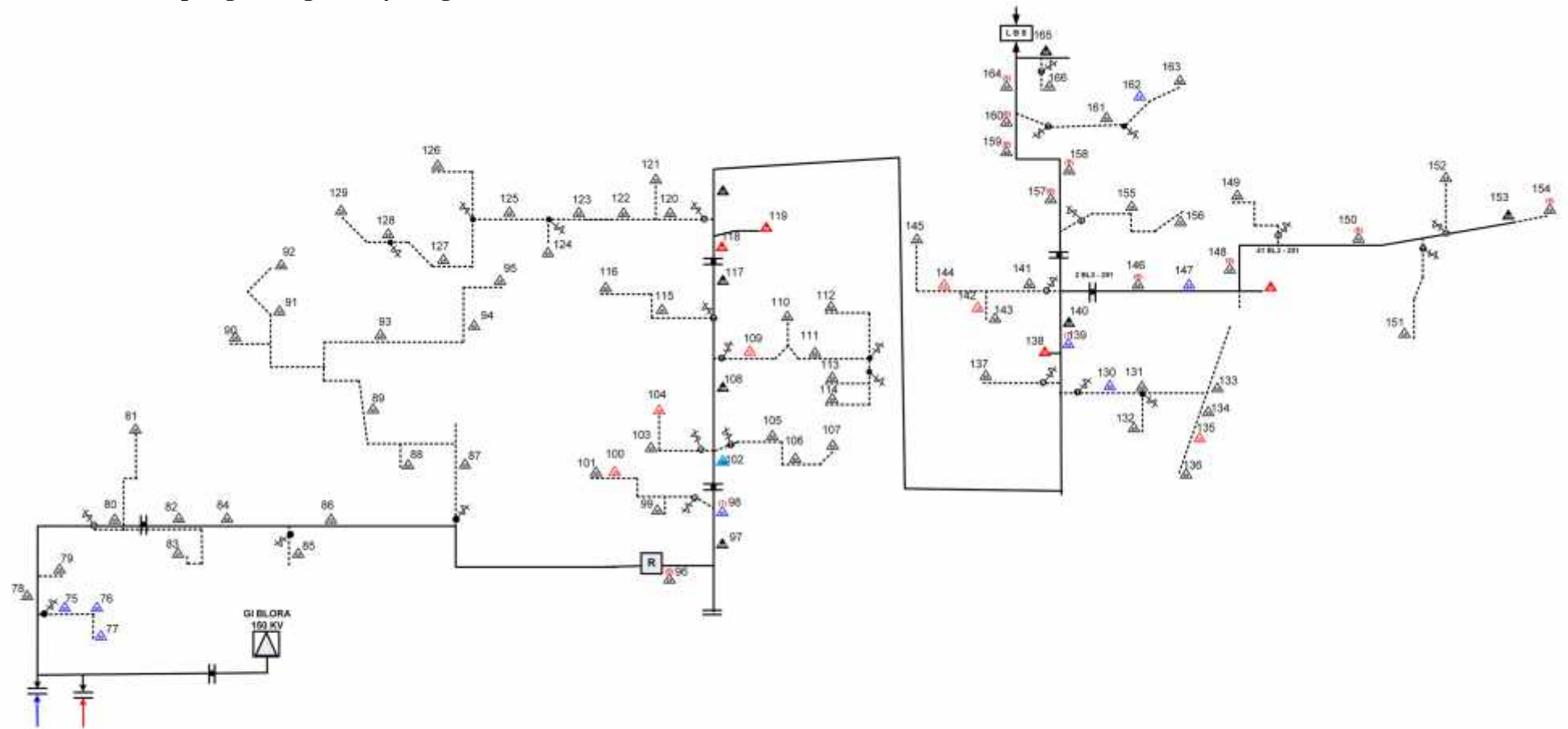
Halaman ini sengaja dikosongkan

4) Topologi Jaringan Penyulang Blora 5



Halaman ini sengaja dikosongkan

5) Topologi Jaringan Penyulang Blora 6



Halaman ini sengaja dikosongkan